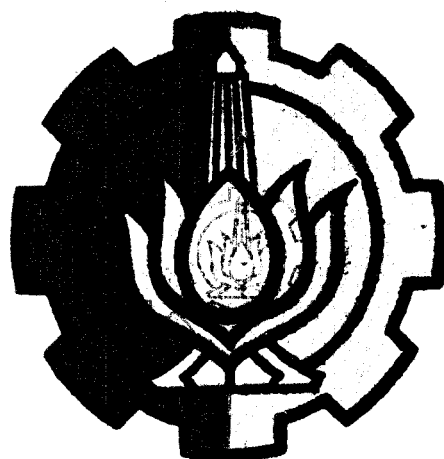


7065/ITS/H/95

men

# TEORI CONGESTION DAN APLIKASINYA DALAM SISTEM TELEFONI



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	17 APR 1995
Terima Oleh	17
No. Agenda Prp.	5155

RSE  
621.385  
SUC  
t-1  
1995

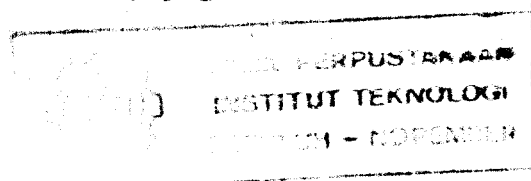
OLEH :

HADI SUCIPTO

NRP : 2882201033

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

1995



**TEORI CONGESTION DAN  
APLIKASINYA  
DALAM SISTEM TELEFONI**

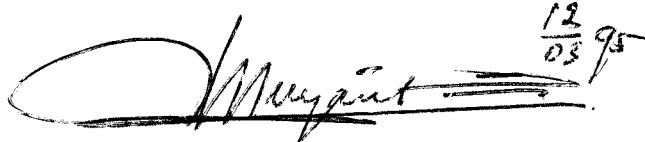
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Telekomunikasi  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing**



**( Dr. Ir. Agus Mulyanto, MSc. PhD )**

**NIP. 130 422 813**

**SURABAYA**

**Maret, 1995**

## ABSTRAK

Kesesakan trafik telepon yang terjadi pada jam sibuk dapat menyebabkan kegagalan panggilan. Untuk meningkatkan mutu pelayanan jasa telepon, perlu diatasi permasalahan kesesakan trafik telepon. Karena itu perlu diperbanyak studi yang berhubungan dengan masalah kesesakan trafik telepon.

Dalam tugas akhir ini dikaji teori congestion (kesesakan) dalam sistem telefoni. Pembahasan dibatasi pada sistem kerugian dan sistem tunggu untuk sistem ketersediaan penuh, dan juga pada sistem link, yang akan diterapkan dalam perhitungan probabilitas kemacetan pada suatu sentral otomatis.

Teori congestion dalam sistem telefoni berhubungan dengan studi kuantitatif aliran trafik telepon dalam suatu sentral telepon otomatis dan perhitungan panggilan-panggilan yang hilang atau tertunda selama melalui sentral tersebut. Kemacetan trafik telepon dipengaruhi oleh susunan sistem sentral yang digunakan dan karakteristik trafik baik yang berhasil maupun gagal. Untuk mempelajari masalah kemacetan trafik perlu dilakukan analisa secara matematik, yang tak bisa lepas dari ilmu probabilitas dan stokastik.

Dari hasil pembahasan diperoleh rumusan klasik dalam sistem loss yaitu Bernoulli, Poisson, Engset dan Erlang melalui penurunan dengan menggunakan proses Birth & Death. Pada sistem link fungsi kemacetan dapat diturunkan dengan menggunakan metode Jacobus dan metode Lee-Legall. Dengan menggunakan hasil pembahasan dapat dipakai untuk menghitung probabilitas kemacetan pada suatu STO. Untuk bulan Januari 1995 pada STO Mojokerto probabilitas kemacetannya adalah 0.0 dan derajat pelayanan 0.45%, STO Rungkut-A mempunyai probabilitas kemacetan  $1.7E-14$  dan derajat pelayanan 0.72%, sedang pada STO Kebalen-D mempunyai probabilitas kemacetan 0.0 dan derajat pelayanan 0.026%.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadlirat ALLAH swt. karena hanya dengan ijin dan kekuatan yang telah dikaruniakan-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

### TEORI CONGESTION DAN APLIKASINYA DALAM SISTEM TELEFONI

Tugas Akhir yang berbobot 6 SKS ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademis guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Sadar akan keterbatasan kemampuan yang ada pada diri penulis sebagai manusia, akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukannya, segala kritik dan saran yang dapat memperbaiki tugas akhir ini sangat penulis harapkan.

Surabaya, Maret 1995

P e n u l i s

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini, ingin penulis sampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Ir. Agus Mulyanto, MSc. PhD, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Karyadi MSc, selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dalam menempuh kuliah selama di Teknik Elektro ITS.
3. Bapak DR. Ir. M. Salehudin, M.Eng.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro - FTI - ITS.
4. Bapak Ir. M. Aries Purnomo, selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi.
5. Bapak Sardjono, Budi, Amin, Nyoman ,Dwi dan bapak-bapak di Telkom yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ayah, Ibu, kakak dan adik-adikku yang telah memberikan dukungan dan motivasi.
7. Didik, Ibrohim, Rudi, Yoyok, Eko, Widi, Novi, dan semua temanku yang tak dapat kami sebutkan satu per satu.
8. Teristimewa Wiwik yang telah mendorongku untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga ALLAH swt membalas kebaikan dan senantiasa melimpahkan karunia Rahman dan Rahim-Nya.

## DAFTAR ISI

JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK ..... i

KATA PENGANTAR ..... ii

UCAPAN TERIMAKASIH ..... iii

DAFTAR ISI ..... iv

DAFTAR GAMBAR ..... viii

DAFTAR TABEL ..... x

BAB I PENDAHULUAN ..... 1

I.1 LATAR BELAKANG ..... 1

I.2 PERMASALAHAN ..... 2

I.3 PEMBATASAN MASALAH ..... 3

I.4 TUJUAN ..... 3

I.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN ..... 3

BAB II TEORI TRAFIK TELEPON ..... 6

II.1 UMUM ..... 6

II.2 SATUAN TRAFIK TELEPON ..... 7

II.3 JAM SIBUK ..... 9

II.4 WAKTU GENGAM ..... 10

II.5 DERAJAT PELAYANAN ..... 10

II.6 KLASIFIKASI DAN TIPE TRAFIK ..... 12

II.7 PENGUKURAN KEMACETAN JARINGAN ..... 14

II.8 TIPE KEMACETAN ..... 16

II.9 SISTEM KEGAGALAN .....	18
II.9.1 SISTEM KERUGIAN .....	18
II.9.2 SISTEM TUNDA .....	20
II.9.3 KOMBINASI SISTEM KERUGIAN DAN TUNDA ..	22
BAB III TEORI PROBABILITAS .....	25
III.1 UMUM .....	25
III.2 KONSEP PROBABILITAS .....	25
III.3 VARIABEL ACAK .....	27
III.4 MODEL-MODEL FUNGSI PROBABILITAS .....	30
III.4.1 MODEL EKSPONENSIAL .....	30
III.4.2 MODEL ERLANG .....	30
III.4.3 MODEL POISSON .....	32
III.4.4 MODEL BINOMIAL .....	32
BAB IV TEORI CONGESTION DALAM SISTEM TELEFONI .....	34
IV.1 UMUM .....	34
IV.2 SISTEM KERUGIAN .....	37
IV.2.1 KARAKTERISTIK UMUM .....	37
IV.2.1.1 GAMBARAN SISTEM .....	37
IV.2.1.2 PENGERTIAN KERUGIAN .....	41
IV.2.1.3 TRAFIK .....	42
IV.2.2 PROSES KELAHIRAN DAN KEMATIAN .....	44
IV.2.3 PROSES NON MARKOVIAN .....	59
IV.2.3.1 GI/M/R .....	60
IV.2.3.2 M/G/R .....	62
IV.3 SISTEM TUNGU .....	63
IV.3.1 KARAKTERISTIK UMUM .....	63
IV.3.1.1 GAMBARAN SISTEM .....	63

IV.3.1.2 PROBABILITAS TUNDA .....	64
IV.3.1.3 TRAFIK .....	65
IV.3.1.4 WAKTU TUNGGU .....	68
IV.3.2 SISTEM TUNGGU DENGAN PELAYANAN	
SALURAN TUNGGAL (M/M/1) .....	69
IV.3.3 SISTEM TUNGGU DENGAN PELAYANAN	
SALURAN BANYAK .....	70
IV.3.3.1 M/M/R .....	70
IV.3.3.2 M/M/R/N .....	73
IV.3.3.3 M/D/R .....	75
IV.4 SISTEM KERUGIAN - TUNDA .....	76
BAB V SISTEM LINK .....	79
V.1 UMUM .....	79
V.2 GAMBARAN SISTEM .....	79
V.3 METODE PERHITUNGAN .....	86
V.3.1 METODE JACOBUS .....	86
V.3.1.1 PRINSIP PERHITUNGAN .....	86
V.3.1.2 ROUTE DENGAN BEBERAPA KOLOM ...	94
V.3.1.3 SISTEM LINK TAK LENGKAP .....	95
V.3.1.4 SISTEM LINK LEBIH DARI DUA	
TINGKAT .....	97
V.3.2 METODE LEE - LEGALL .....	99
V.3.2.1 GRAFIK SALURAN .....	99
V.3.2.2 PRINSIP PERHITUNGAN ..	102
V.3.2.3 SISTEM LINK DUA TINGKAT .....	103
V.3.2.4 SISTEM LINK TIGA TINGKAT .....	105
V.3.2.5 SISTEM LINK MESH EMPAT TINGKAT..	109



V.3.2.6 SISTEM LINK SPIDERWEB EMPAT	
TINGKAT .....	113
V.3.2.7 PERBANDINGAN SISTEM LINK .....	115
BAB VI PENERAPAN TEORI CONGESTION DALAM SISTEM	
TELEFONI DI SENTRAL TELEPON OTOMAT .....	116
VI.1 UMUM .....	116
VI.2 STO MOJOKERTO .....	116
VI.3 ANALISA PROBABILITAS KEMACETAN	
STO MOJOKERTO .....	119
VI.4 STO RUNGKUT-A .....	124
VI.5 ANALISA PROBABILITAS KEMACETAN STO	
RUNGKUT-A .....	126
VI.6 STO KEBALEN-D .....	129
VI.7 ANALISA PROBABILITAS KEMACETAN-STO	
KEBALEN-D .....	130
VI.8 PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN TRAFIK .....	135
BAB VII PENUTUP .....	136
DAFTAR PUSTAKA .....	138
LAMPIRAN	
1. USULAN TUGAS AKHIR	
2. DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2-1	DIAGRAM PANGGILAN PADA SENTRAL .....	11
GAMBAR 2-2	DIAGRAM TIPE TRAFIK DI SENTRAL .....	14
GAMBAR 2-3	SISTEM SWITCHING YANG IDEAL .....	17
GAMBAR 2-4	SISTEM KERUGIAN DENGAN C PELAYANAN DAN M PELANGGAN .....	19
GAMBAR 2-5	SISTEM TUNDA DENGAN C PELAYANAN RUANG TUNGGU YANG TIDAK TERBATAS DAN M PELANGGAN	22
GAMBAR 2-6	KOMBINASI SISTEM KERUGIAN DAN TUNDA DENGAN C PELAYANAN N RUANG TUNGGU DAN SUMBER YANG TAK TERBATAS .....	23
GAMBAR 4-1	GRUP SISTEM KETERSEDIAAN PENUH .....	38
GAMBAR 4-2	REALISASI PROSES CONGESTION .....	40
GAMBAR 4-3	PROSES B&D DENGAN SERVER TUNGGAL .....	46
GAMBAR 4-4	PROSES B&D SECARA UMUM .....	48
GAMBAR 5-1	SISTEM LINK DENGAN DUA TINGKAT SELSEKTOR	81
GAMBAR 5-2	SISTEM SWITCH CROSSBAR DENGAN TINGKAT SELEKTOR PRIMER DAN SEKUNDER .....	82
GAMBAR 5-3	SEBAGIAN DARI SISTEM LINK .....	83
GAMBAR 5-4	MATRIKS N X N .....	84
GAMBAR 5-5	MATCHING LOSS SISTEM LINK TIGA TINGKAT ..	85
GAMBAR 5-6	SISTEM LINK TAK LENGKAP .....	96
GAMBAR 5-7	SISTEM LINK TIGA TINGKAT SELEKTOR .....	99
GAMBAR 5-8	MATRIKS SWITCHING DAN GRAFIK SALURAN DARI SISTEM LINK .....	100

GAMBAR 5-9	JARINGAN NONSERI-PARALEL, GRAFIK KANAL DAN DIAGRAM KANONIKNYA .....	101
GAMBAR 5-10	MATRIKS SWITCHING DUA TINGKAT .....	103
GAMBAR 5-11	MATRIKS SWITCHING DUA TINGKAT DENGAN MULTIPLE LINK .....	104
GAMBAR 5-12	DIAGRAM MATRIKS SWITCHING TIGA TINGKAT	106
GAMBAR 5-13	GRAFIK MATRIKS TIGA TINGKAT DENGAN RETRIAL .....	108
GAMBAR 5-14	DIAGRAM MATRIKS MESH EMPAT TINGKAT .....	109
GAMBAR 5-15	DIAGRAM MATRIKS MESH EMPAT TINGKAT DENGAN MULTIPLE LINK .....	111
GAMBAR 5-16	GRAFIK MATRIKS MESH EMPAT TINGKAT DENGAN RETRIAL .....	112
GAMBAR 5-17	GRAFIK MATRIKS MESH EMPAT TINGKAT DENGAN RETRIAL DAN MULTIPLE LINK .....	113
GAMBAR 5-18	DIAGRAM MATRIKS SPIDERWEB EMPAT TINGKAT	114
GAMBAR 6-1	DIAGRAM TRUNKING STDI MOJOKERTO .....	118
GAMBAR 6-2	JARINGAN SWITCHING DE4 DAN DIAGRAM SALURANNYA .....	123
GAMBAR 6-3	DIAGRAM SENTRAL MC 10C RUNGKUT-A .....	125
GAMBAR 6-4	KONSENTRASI DAN EKSPANSI DALAM SENTRAL MC 10C .....	126
GAMBAR 6-5	SISTEM LINK SENTRAL RUNGKUT-A DAN DIAGRAM SALURANNYA .....	128
GAMBAR 6-6	JARINGAN SWITCHING SENTRAL DE 5.2 .....	130
GAMBAR 6-7	DIAGRAM SALURAN SENTRAL DE 5.2 .....	133

## DAFTAR TABEL

TABEL 6-1	KONDISI KAPASITAS STDI MOJOKERTO .....	119
TABEL 6-2	RINCIAN DISTRIBUSI LOSS CALL STDI MOJOKERTO UNTUK BULAN JANUARI 1995 .....	120
TABEL 6-3	DISTRIBUSI LOSS CALL DAN SCR STDI MOJOKERTO BULAN JANUARI 1995 .....	121
TABEL 6-4	RINCIAN DISTRIBUSI LOSS CALL STO RUNGKUT A UNTUK BULAN JANUARI 1995 .....	126
TABEL 6-5	DISTRIBUSI LOSS CALL DAN SCR STO RUNGKUT A BULAN JANUARI 1995 .....	127
TABEL 6-6	RINCIAN DISTRIBUSI LOSS CALL STO KEBALEN D UNTUK BULAN JANUARI 1995 .....	131
TABEL 6-7	DISTRIBUSI LOSS CALL STO KEBALEN D BULAN JANUARI 1995 .....	132

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 LATAR BELAKANG

Telepon adalah sarana komunikasi yang sangat penting pada masa kini dan masa yang akan datang. Laju peningkatan yang sangat pesat dari pemakaian telepon dan kian melonjaknya pemakaian komputer mengakibatkan kebutuhan akan fasilitas transmisi komunikasi turut meningkat, tidak saja suara, tapi juga teks, data dan grafik, dengan tanpa memandang jarak.

Besarnya kapasitas saluran serta intensitas aliran trafik telepon yang melalui saluran dapat dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain :

- jumlah pemakai saluran
- komposisi pelanggan
- serta besar tarif yang dikenakan selama melakukan percakapan.

Dalam perkembangannya penyediaan kapasitas saluran pada sentral telepon sangat terbatas, sedang jumlah pemakai jasa telepon terus meningkat. Jika saluran yang tersedia sudah penuh maka panggilan pelanggan yang masuk ke sentral tidak dapat dilayani, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kemacetan. Kemacetan telepon tersebut sering terjadi di kota-kota besar, terutama pada jam-jam sibuk. Hal ini menjadi salah satu penyebab

rendahnya SCR lalu lintas telepon , sehingga mutu pelayanan jasa telekomunikasi menjadi rendah. Kondisi tersebut tentunya sangat tidak menguntungkan baik bagi pemakai jasa maupun pengelola jasa telekomunikasi.

## I.2 PERMASALAHAN

Kebutuhan akan sarana telepon terus meningkat sejalan dengan meningkatnya kemajuan yang terjadi pada masyarakat. Untuk meningkatkan mutu pelayanan akan jasa telekomunikasi terutama telepon , maka diperlukan informasi mengenai lalu lintas telepon pada masa yang lalu dan juga kemungkinan perkembangannya di masa yang akan datang.

Jika lalu lintas telepon yang masuk ke sentral telepon sudah penuh maka , panggilan lain yang masuk terpaksa harus antri atau dibatalkan kemudian memutar kembali yang diinginkan , hal ini terjadi terutama pada jam-jam sibuk. Keadaan dimana saluran telepon sudah penuh sehingga panggilan yang lain harus antri atau dibatalkan disebut congestion atau kemacetan. Adanya kemacetan tersebut menyebabkan SCR menjadi rendah.

Dalam Tugas Akhir ini akan dikaji sustu teori yang berhubungan dengan masalah kongesti atau kemacetan yaitu teori congestion dalam sisten telefoni. Dari hasil pengkajian teori tersebut nantinya diharapkan dapat dipakai sebagai metode untuk mengetahui kondisi suatu sentral telepon guna meningkatkan mutu pelayanan.

### I.3 PEMBATASAN MASALAH

Dalam pembahasan Tugas Akhir ini masalah yang akan diketengahkan hanya pada sistem ketersediaan penuh (full availability) dan sistem link. Dengan batasan pada sistem tersebut akan ditentukan rumusan-rumusan fungsi congestion yaitu time dan call congestion pada sistem loss, probabilitas tunda pada sistem tunggu serta fungsi congestion pada sistem link.

Dari hasil rumusan tersebut akan dibahas penerapannya pada suatu sentral telepon otomatis dan akan ditentukan tingkat atau mutu pelayanan (GOS) dari sentral tersebut.

### I.4 MAKSUD DAN TUJUAN

Dari hasil pembahasan Tugas Akhir ini diharapkan nantinya dapat diketahui kondisi suatu sentral telepon otomatis, apakah derajat pelayanannya masih memenuhi standar atau tidak. Dari hasil tersebut dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk meningkatkan kemampuan dari sentral tersebut, guna meningkatkan mutu pelayanan jasa telekomunikasi.

### I.5 SITEMATIKA PEMBAHASAN

Penyusunan Tugas Akhir ini kami susun sedemikian rupa sehingga akan diperoleh suatu pembahasan yang sistematis.

Diawali dengan bab pertama yang merupakan gambaran umum tentang penyusunan Tugas Akhir ini, yang meliputi latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, serta maksud dan tujuan dan juga sistematika dari penyusunan Tugas Akhir ini.

Pada bab berikutnya diuraikan tentang teori penunjang yang akan dipakai sebagai pengertian awal yang mendukung inti dari pembahasan Tugas Akhir ini. Dalam teori penunjang disini kami bagi dalam dua bab. Pada bab II akan diuraikan tentang teori lalulintas telepon, yaitu penjelasan secara singkat akan pengertian dan istilah-istilah dalam lalulintas telepon. Dalam bab ini dibahas pengertian dan satuan lalulintas telepon, jam sibuk, waktu genggam, derajat pelayanan, klasifikasi trafik, serta sistem-sistem kegagalan dalam lalulintas telepon.

Pada bab III akan diketengahkan tentang teori probabilitas yang mengandung pokok bahasan tentang konsep probabilitas, variabel-variabel, serta model atau fungsi probabilitas.

Untuk bab berikutnya merupakan inti dari penyusunan Tugas Akhir ini yaitu pembahasan teori congestion dalam sistem telefoni dan aplikasinya. Pada pembahasan ini kami bagi dalam tiga bab. Pada bab IV membahas teori congestion untuk sistem loss, sistem tunggu dan sistem loss-delay. Sedangkan pada bab V membahas teori congestion pada sistem



link, yang pembahasannya berbeda dengan bab IV. Sedangkan pada bab VI membahas penerapan dari teori congestion pada suatu sentral telepon otomatis, yang akan menentukan kondisi dari sentral tersebut.

Dan sebagai bagian akhir dari penyusunan Tugas Akhir ini merupakan bab penutup yang merupakan kesimpulan dari hasil pembahasan Tugas Akhir ini.

## BAB II

### TEORI LALU LINTAS TELEPON

#### II.1 UMUM

Sebagai awal dari pembahasan Tugas Akhir ini perlu untuk mengetahui pengertian dasar serta istilah-istilah yang berhubungan dengan lalu lintas telepon. Untuk itu dalam bab ini akan diuraikan secara singkat pengertian akan lalu lintas telepon dan istilah-istilahnya.

Pada bab ini menguraikan tentang pengertian trafik telepon serta satuan-satuannya, jam sibuk, waktu genggam, jenis-jenis trafik telepon, kemacetan trafik, serta sistem kegagalan.

Timbulnya lalu lintas telepon dalam sentral telepon disebabkan oleh adanya panggilan yang mengangkat handset. Maka diharapkan setiap pelanggan yang mengangkat handset mendapat pelayanan yang sama yaitu hubungannya dapat berlangsung dengan pelanggan lain yang dikehendaki.

Sedang mutu pelayanan dalam sistem jaringan komunikasi dinyatakan dalam gangguan yang diperbolehkan. Besarnya ukuran gangguan ini tergantung pada persyaratan yang diambil untuk suatu sistem yang ideal. Misalnya untuk suatu hubungan telepon nilai penerimaannya didefinisikan oleh adanya gangguan yang lebih kecil atau sama dengan 1%.

Jadi pada sistem telekomunikasi tingkat pelayanan yang tinggi akan mempunyai kegagalan yang rendah dan ini tentunya dapat dicapai dengan menentukan jumlah jaringan telepon yang sesuai dengan kebutuhan.

## II.2 SATUAN LALU LINTAS TELEPON

Satuan dari lalu lintas telepon adalah Erlang, yaitu lamanya pendudukan pada suatu saluran dalam selang waktu tertentu dalam jam sibuk. Satu Erlang didefinisikan sebagai nilai trafik dari suatu peralatan atau saluran yang dalam selang waktu satu jam terus menerus diduduki. Nilai trafik maksimum dari satu saluran adalah sebesar 1 Erlang, akibat dari pendudukan satu panggilan atau lebih. Intensitas trafik adalah nilai trafik dari sejumlah panggilan yang datang dalam selang waktu 1 jam. Dalam perhitungan ini, intensitas trafik dinyatakan sebagai jumlah rata-rata panggilan per satuan waktu dikalikan dengan waktu genggam rata-rata atau <sup>1</sup>:

$$A = C \cdot T \quad (\text{menit-panggilan})$$

$$= C \cdot T / (60) \quad (\text{jam-panggilan} = \text{erlang}) \dots \dots (2-1)$$

<sup>1</sup> Ramses R. Minna, INTRODUCTION TO TELETRAFFIC ENGINEERING, Telephony, The Journal of Telephony Industry, Telephone Publishing, Chicago, 1974, hal. 1

## Keterangan :

- A : Volume trafik
- C : Jumlah panggilan
- T : waktu genggam rata-rata (menit)

Untuk membicarakan hal di atas , lalu lintas telepon dalam sebuah jaringan telekomunikasi dibuat untuk menjumlah banyaknya panggilan yang datang dan waktu pelayanan yang diperlukan untuk melayani panggilan ini. Untuk lalu lintas telepon perlu untuk mengetahui karakteristik-karakteristik dari dua parameter ini. Pola kedatangan dari panggilan yang masuk menuju jaringan apakah random atau tidak random. Kedatangan secara random digambarkan dengan distribusi Poisson artinya kita asumsikan bahwa panggilan yang datang adalah bebas dan tidak terjadi di dalam kelompok atau golongan.

Satuan dari trafik yang lain adalah :<sup>2</sup>

- 1 Erlang = 1 TU
- = 1 VE
- = 36 CCS
- = 36 HCS

---

<sup>2</sup> Lansun Lee PhD, AN INTRODUCTION TO TELECOMMUNICATION NETWORK  
TRAFFIC ENGINEERING, ATI Ltd, Edmonton Alberta, Canada,  
1986, Hal.6

= 36 UC  
 = 30 ARHC  
 = 30 EBHC

Keterangan :

TU : Traffic Unit  
 VE : Verkenseinheit  
 CCS : Cent Calls Second  
 UC : Unit Call  
 ARHC : Appels Reduits a i Heure Chargee  
 EBHC : Equated Busy Hour Call

### II.3 JAM SIBUK (BUSY HOUR)

Jam sibuk adalah periode waktu selama 60 menit (1 jam) yang merupakan selang waktu selama 24 jam dimana harga intensitas trafik dari trunk grup mencapai maksimum. Jam sibuk akan berlainan untuk setiap daerah. Misalnya untuk daerah industri akan mempunyai jam sibuk yang berlainan dengan jam sibuk untuk daerah pemukiman. Untuk daerah industri akan memiliki jam sibuk antara jam 10 sampai dengan jam 11, sedang daerah pemukiman jam sibuk umumnya terjadi antara jam 13.30 sampai dengan jam 19.00. Pada umumnya jam sibuk terjadi pada jam 9 sampai jam 10.

Dari hal di atas, maka jam sibuk sangat penting, sebab dengan mengetahui waktu jam sibuk peralatan-peralatan di sentral dapat ditambah atau dikurangi, dengan demikian besarnya kemungkinan kegagalan panggilan dapat diperkecil.

#### II.4 WAKTU GENGAM (HOLDING TIME)

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam telefoni tidak hanya jumlah panggilan yang berhasil saja , tetapi juga selang waktu dari panggilan tersebut. Lama waktu yang digunakan untuk tujuan panggilan pada suatu sirkuit disebut waktu genggam. Lama waktu genggam dari suatu panggilan sebagian dapat dibuat untuk percakapan dan sebagian untuk operasi.

Tidak hanya waktu percakapan saja yang bervariasi dengan panggilan tetapi waktu untuk menghubungkan dan melepaskan hubungan tergantung pada tipe panggilan. Dengan demikian waktu genggam suatu panggilan dari tipe yang bermacam-macam akan berbeda.

Dengan adanya variasi waktu genggam pada setiap sentral , maka perlu direncanakan untuk dapat menentukan waktu genggam rata-rata untuk setiap kategori dari suatu panggilan di dalam sebuah sentral. Waktu genggam rata-rata adalah lamanya seluruh percakapan yang berlangsung dibagi dengan jumlah panggilan yang berhasil dalam suatu periode pengamatan tertentu.

#### II.5 DERAJAT PELAYANAN (GRADE OF SERVICE)

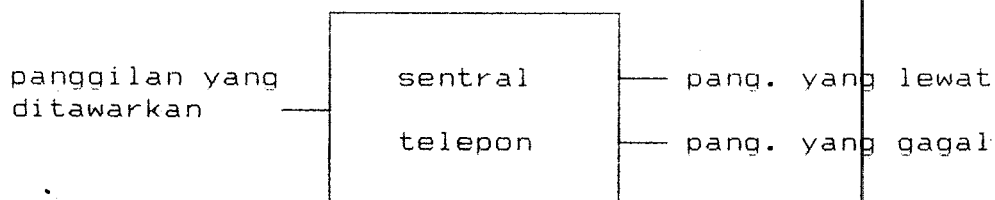
Pada saat jam sibuk , ada kemungkinan terjadinya hubungan yang akan dilakukan melebihi kapasitas saluran yang disediakan , sehingga banyak hubungan yang tidak dapat diteruskan akan gagal (lost call)

Grade of service (GOS) menyatakan perbandingan dari hubungan yang gagal dengan hubungan yang ditawarkan , atau ukuran panggilan yang gagal yang diijinkan selama jam sibuk. Pada variasi trafik dari waktu ke waktu , kemacetan yang dapat diijinkan untuk menggunakan jaringan diberikan pada jam sibuk yang dapat mewakili dimana lalu lintas terpadat . sehingga penting untuk memilih jam sibuk yang menghasilkan GOS yang memuaskan waktu ketika kemacetan menjadi besar dan GOS menjadi tidak memuaskan. Pengelolaan jaringan akan diaplikasikan sehingga akan menghasilkan GOS yang dapat diterima pelanggan.

Derajat pelayanan (B) untuk sebuah rangkaian dapat dihitung sebagai berikut :

$$B = \frac{\text{Jumlah panggilan yang gagal}}{\text{Jumlah panggilan yang ditawarkan}}$$

Jika diasumsikan bahwa panggilan yang gagal mempunyai waktu genggam yang sama seperti panggilan yang dilewatkan. Bila kita gambarkan panggilan yang ditawarkan dan yang dilewatkan sebagai berikut :



GAMBAR 2-1

DIAGRAM PANGGILAN PADA SENTRAL

maka :

$$B = \frac{\text{panggilan gagal}}{\text{panggilan yang ditawarkan}}$$

$$B = \frac{\text{panggilan yang ditawarkan} - \text{panggilan yang lewat}}{\text{panggilan yang ditawarkan}}$$

$$B = 1 - \frac{\text{panggilan yang lewat}}{\text{panggilan yang ditawarkan}}$$

Jadi GOS menyatakan keandalan untuk melakukan hubungan, bila GOS rendah maka keandalannya tinggi karena kemungkinan gagal kecil dan sebaliknya bila GOS tinggi keandalannya kecil.

## II.6 KLASIFIKASI DAN TIPE TRAFIK

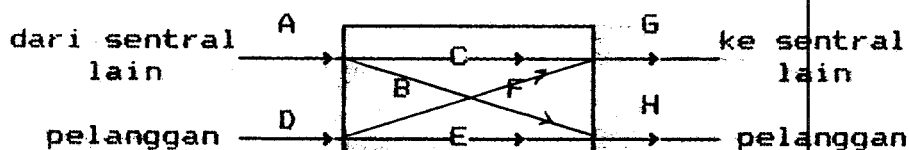
Klasifikasi dan tipe trafik terdiri dari :

- Originating Traffic : Trafik yang dibangkitkan oleh sumber (pelanggan) dari suatu sentral, kemanapun tujuannya baik ke arah internal maupun ke arah outgoing.
- Terminating Traffic : Trafik yang menuju ke pelanggan yang dipanggil dari manapun asalnya, baik yang berasal dari originating sentralnya sendiri



ataupun dari incoming call dari sentral lain.

- Incoming Traffic : Trafik yang masuk ke suatu sentral yang dibangkitkan oleh suatu sumber yang berada di sentral lain, kemanapun tujuannya baik ke transit maupun ke terminating.
- Internal Traffic : Trafik yang masuk ke suatu sentral yang dibangkitkan oleh pelanggan sentral tersebut menuju ke terminating sentral tersebut.
- Outgoing Traffic : Trafik yang keluar dari suatu sentral yang menuju ke pelanggan di sentral lain dari manapun asalnya, baik dari transit maupun originating.
- Transit Traffic : Trafik yang hanya melalui suatu sentral yang dibangkitkan oleh suatu sumber yang berbeda di sentral lain dan ditujukan ke pelanggan yang dipanggil di sentral lain.



GAMBAR 2-2

## DIAGRAM TIPE TRAFIK DI SENTRAL

Keterangan : A = Incoming Traffic

B = Incoming Terminating Traffic

C = Transit Traffic

D = Originating Traffic

E = Internal Traffic

F = Outgoing Originating Traffic

G = Outgoing Traffic

H = Terminating Traffic

## II.7 PENGUKURAN KEMACETAN JARINGAN

Selama ada lalulintas dalam sebuah jaringan telekomunikasi, jaringan itu akan memiliki probabilitas untuk mengalami kemacetan. Misalnya dianggap sebuah saluran melewati  $A$  erlang selama periode tertentu sebesar  $\tau$ . Jika sebuah panggilan tiba, saluran mungkin sibuk atau bebas. Jika bebas panggilan akan dilayani dengan segera dan jika sibuk maka panggilan akan menemui kemacetan. Sewaktu  $A = 1$  Erlang saluran itu akan diduduki oleh satu pelanggan dan akan sibuk 100% selama periode  $\tau$ , sehingga kepadatan akan menjadi 100%. Sewaktu  $A$  kecil saluran akan diduduki lebih kecil sehingga akan sibuk untuk waktu yang lebih kecil selama periode  $\tau$ . Dalam kasus

ini kesempatan panggilan yang masuk pada waktu yang tepat selama periode waktu ketika saluran sibuk akan sangat kecil.

Cara untuk mengatur sebuah panggilan yang menemui kemacetan dalam jaringan sistem komunikasi tergantung pada bentuk operasi dari jaringan tersebut. Menurut bentuk operasinya adalah :

- Loss basis : artinya sebuah panggilan akan ditolak jika dalam jaringan ditemukan kemacetan dan panggilan tidak akan dipertahankan.
- Delay basis : artinya panggilan melalui operator sehingga panggilan harus melalui waktu tunggu dan waktu pelayanan bila panggilan itu mengalami kemacetan.
- Kombinasi Loss dan Delay : artinya panggilan yang gagal untuk diantri lagi.

Untuk jaringan telekomunikasi yang dioperasikan dalam loss basis , jumlah total ( $L_o$ ) dari panggilan yang ditawarkan selama periode waktu tertentu dibagi ke dalam dua bagian yaitu yang dilayani ( $L$ ) dan yang ditolak ( $L_r$ ).

$$L_o = L + L_r \dots\dots\dots(2-2)$$

Untuk sebuah jaringan telekomunikasi yang dioperasikan dalam sebuah delay basis , sebuah panggilan yang ditawarkan dalam jaringan selama periode  $\tau$ , salah satunya akan mendapat pelayanan dengan segera jika jaringan tidak macet , tetapi jika menemui kemacetan akan tertunda. Sehingga lama waktu panggilan dalam jaringan akan

dihabiskan dan akan diubah ke dalam dua bagian yaitu waktu tunggu (waiting time) 'W' dan waktu pelayanan (service time) 'S'. Total waktu dari keduanya disebut waktu tunda (delay time) atau waktu antri 'Q'.

$$Q = W + S \dots\dots\dots(2-3)$$

Dalam keadaan yang mudah selama periode tertentu ( $\tau$ ), jaringan memiliki  $L_s$  yang harus dilayani dan  $L_w$  panggilan yang harus menunggu. Jumlah total dari panggilan ( $L$ ) di dalam jaringan dinamakan ukuran antrian (queue size).

$$L = L_w + L_s \dots\dots\dots(2-4)$$

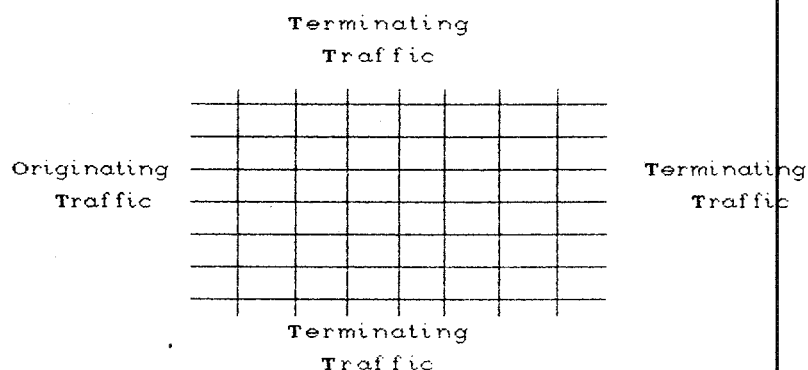
## II.8 TIPE KEMACETAN

Sebuah panggilan dapat menemui 3 tipe dari kemacetan atau blocking sebagai usaha untuk berhubungan dari pelanggan yang satu ke pelanggan yang lainnya. Kemacetan tersebut meliputi :

- Internal congestion : artinya kemacetan akan ditemui selama hubungan untuk melayani sebuah sirkit atau sumber terakhir (terminating traffic). Sebuah sistem yang ideal mengizinkan beberapa sumber untuk berbicara ke sumber yang lain sepanjang waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2-3.
- Jaringan atau external congestion adalah ketidakmampuan untuk memilih sebuah saluran di antara switch-switch yang sekarang dilimpahkan ke semua saluran tanpa memperhatikan semua saluran sibuk. Grup yang

ditangkap yang menunjukkan jumlah panggilan yang gagal dengan kuantitas yang tidak mencukupi dijadikan dasar dalam ilmu ekonomi. Teknik saluran yang baru yaitu dengan menggunakan komputer sebagai pengontrol pada switch-switch telepon yang memungkinkan bermacam-macam route dari sebuah panggilan ke arah yang dituju, karena itu dapat memperkecil kemacetan.

- Metode ketiga dari kepadatan adalah penghalang blocking ditemukan ketika terminating source atau saluran panggilan sibuk dan tipe ini adalah paling besar di antara ketiga tipe kemacetan dan mudah untuk ditemukan. Jika saluran yang diikat itu sebesar 10% selama jam sibuk, maka kemacetan yang ditemukan selama 10% pula.



GAMBAR 2-3<sup>3</sup>

#### SISTEM SWITCHING YANG IDEAL

<sup>3</sup>R. J. Bert Murphy, TELECOMMUNICATION NETWORK A TECHNICAL INTRODUCTION, Howard W Sons and Company, hal. 49

## II.9 SISTEM KEGAGALAN

### II.9.1 SISTEM KERUGIAN (LOSS SYSTEM)

Sebuah fungsi yang penting dalam semua tahap dari proses teknik trafik di dalam jaringan telekomunikasi adalah memperkirakan kapasitas trafik dari jaringan sehingga perkiraan dapat membuat tepat dengan bantuan model yang tepat yang digambarkan dengan model operasi dari jaringan.

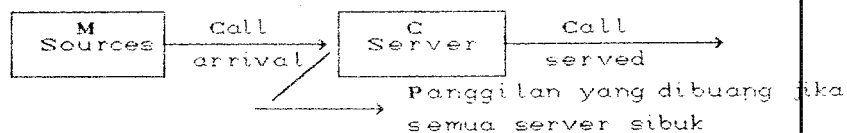
Sebuah jaringan telekomunikasi dioperasikan dalam loss basis diklasifikasikan sebagai sebuah sistem kegagalan. Sistem kegagalan itu dianggap memiliki  $C$  pelayanan dengan kemampuan penuh. Panggilan dibangkitkan dari sumber  $M$  pelanggan seperti ditunjukkan pada gambar 2-4. Bila sebuah panggilan tiba akan segera dilayani jika saluran bebas dan akan ditolak bila  $C$  pelayanan sibuk. Dari waktu sebuah panggilan dibangkitkan sampai waktu panggilan itu lenyap, panggilan itu dikatakan di dalam sistem.

Beberapa kasus di dalam loss system adalah :

Kasus A : Poisson

Kasus ini diasumsikan bahwa :

- a.  $C = M$
- b.  $M = \text{tak hingga}$
- c. Panggilan datang secara random dengan rata-rata tingkat kedatangan  $\lambda$
- d. Distribusi waktu pelayanan adalah eksponensial

GAMBAR 2-4<sup>4</sup>

## SISTEM KERUGIAN DENGAN C PELAYANAN DAN M PELANGGAN

dengan rata-rata  $1/\mu$

e. Syarat keseimbangan statistik harus dipenuhi.

Jika  $C = M = \text{tak hingga}$ , sistem ini tidak akan pernah terjadi kemacetan. Akan tetapi biasa digunakan untuk mengetahui distribusi dari jumlah panggilan yang terus-menerus di dalam sistem.

## Kasus B : Erlang B

Kasus ini diasumsikan bahwa :

- $C < M$
- $M = \text{tak hingga}$
- Panggilan datang secara random dengan rata-rata tingkat kedatangan  $\lambda$
- Distribusi waktu pelayanan adalah eksponensial dengan rata-rata  $1/\mu$
- Syarat keseimbangan statistik harus dipenuhi.

Perbedaan antara kasus A dan B adalah asumsinya bahwa kasus A memiliki jumlah pelayanan yang tak terbatas, sedang kasus B terbatas pelayanannya.

<sup>4</sup> Lansun Lee, Dr, Opcit, hal.19

### Kasus C : Engset Loss Formula

Kasus ini diasumsikan bahwa :

- a.  $C < M$
- b.  $M$  adalah terbatas
- c. Kedatangan panggilan adalah seolah-olah random ,  
dimana setiap panggilan yang dibangkitkan dari  $M$   
sumber adalah random dengan kecepatan  $\lambda$  tatkala  
bebas atau tidak ada panggilan , sehingga rata-rata  
tingkat kedatangan dalam sistem adalah  $(M - k)\lambda$   
dimana  $k$  adalah jumlah dari sumber yang sibuk.
- d. Distribusi waktu pelayanan adalah eksponensial  
dengan rata-rata  $1/\mu$
- e. Syarat keseimbangan statistik harus dipenuhi.

Asumsi pada kasus ini berbeda dari kasus A dalam jumlah pelayanan adalah terbatas , jumlah sumber terbatas dan kedatangan panggilan seolah-olah bebas.

### II.9.2 SISTEM TUNDA (DELAY SYSTEM)

Sebuah jaringan telekomunikasi yang dioperasikan dalam delay basis adalah delay system. Delay system dianggap memiliki  $C$  pelayanan dengan ketersediaan penuh (full availability) terhadap panggilan yaitu dalam ruang tunggu yang tidak terbatas. Panggilan timbul dari  $M$  sumber seperti pada gambar 2-5.

Sebuah panggilan dianggap dilayani dengan pelayanan bebas , akan tetapi panggilan ditempatkan dalam ruang



tunggu dan menunggu waktu untuk dilayani. Jika ada sebuah sumber dalam sistem, sumber akan sibuk dan tidak dapat melayani panggilan lainnya. Probabilitas tunda (probability of delay) dapat dibedakan dalam beberapa kasus :

#### Kasus A : Erlang C

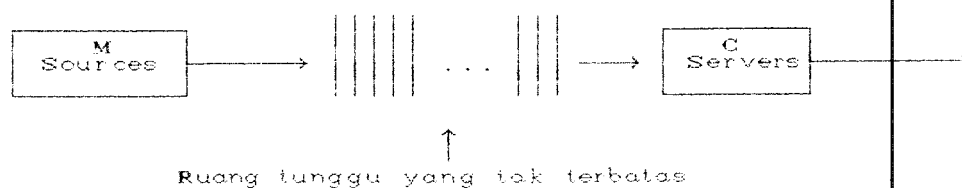
Kasus ini diasumsikan bahwa :

- a.  $C < M$
- b.  $M = \text{tak hingga}$
- c. Panggilan datang secara random dengan rata-rata tingkat kedatangan  $\lambda$
- d. Distribusi waktu pelayanan adalah eksponensial dengan rata-rata  $1/\mu$
- e. Syarat keseimbangan statistik harus dipenuhi.

#### Kasus B : Engset Delay Formula

Kasus ini diasumsikan bahwa :

- a.  $C < M$
- b.  $M$  adalah terbatas
- c. Kedatangan panggilan adalah seolah-olah random, dimana setiap panggilan yang dibangkitkan dari  $M$  sumber adalah random dengan kecepatan  $\gamma$  tatkala bebas atau tidak ada panggilan, sehingga rata-rata tingkat kedatangan dalam sistem adalah  $(M - k)\gamma$  dimana  $k$  adalah jumlah dari sumber yang sibuk.
- d. Distribusi waktu pelayanan adalah eksponensial

GAMBAR 2-5<sup>5</sup>

SISTEM TUNDA DENGAN C PELAYANAN WAKTU TUNGGU YANG TIDAK TERBATAS DAN M PELANGGAN

dengan rata-rata  $1/\mu$

e. Syarat keseimbangan statistik harus dipenuhi.

#### -Antrian Pelayanan Tunggal

Jika delay sistem yang ditunjukkan seperti pada gambar 2-4 hanya memiliki pelayanan tunggal ( $C = 1$ ) dinamakan antrian pelayanan tunggal, dan diasumsikan :

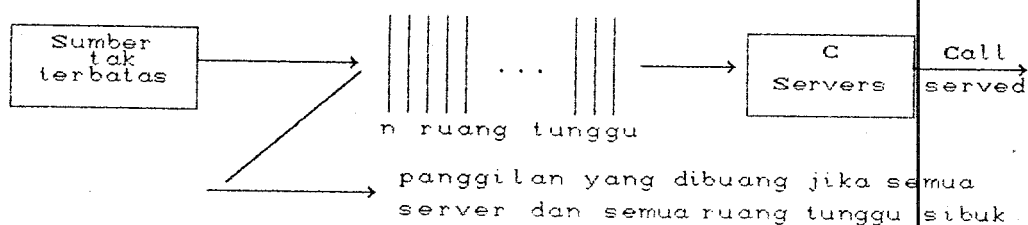
- a.  $M > 1$
- b.  $M =$  tak hingga
- c. Panggilan datang secara random dengan rata-rata tingkat kedatangan  $\lambda$
- d. Distribusi waktu pelayanan adalah umum dengan rata-rata  $E(s)$
- e. Syarat keseimbangan statistik harus dipenuhi.

<sup>5</sup> Ibid, hal. 28

### II.9.3 KOMBINASI SISTEM KERUGIAN DAN TUNDA

Dalam sebuah sistem telekomunikasi yang dioperasikan dalam loss dan delay basis adalah diklasifikasikan sebagai kombinasi loss dan delay sistem. Sistem dianggap memiliki syarat statis dengan asumsi yang sama dengan Erlang C, kecuali jumlah dalam waktu tunggu yang terbatas, dan dapat dilukiskan seperti gambar 2-6.

Sebuah panggilan dilayani juga dalam pelayanan dan akan ditempatkan dalam ruang tunggu untuk dilayani. Jika C pelayanan sibuk dan satu atau lebih dari n dari ruang tunggu adalah bebas, panggilan akan ditolak jika semua C pelayanan dan n ruang tunggu sibuk.



GAMBAR 2-6<sup>6</sup>

KOMBINASI SISTEM KERUGIAN DAN TUNDA DENGAN C PELAYANAN,  
N RUANG TUNGGU DAN SUMBER YANG TAK TERBATAS

<sup>6</sup> Ibid, hal. 30

Dari pengertian-pengertian diatas dapat diperoleh gambaran sekilas tentang lalulintas telepon. Lalulintas telepon ada karena adanya hubungan antar pelanggan. Lalulintas telepon yang timbul dapat digolongkan pada tipe-tipe tertentu, dan juga kegagalan yang terjadi. Untuk menganalisa dan memperhitungkan lalulintas telepon tak lepas dari rumusan-rumusan matematik terutama pada teori probabilitas. Untuk itu pada bab selanjutnya akan dibahas sekilas tentang teori probabilitas.

## BAB III

### TEORI PROBABILITAS

#### III.1 UMUM

Dalam membangun suatu hubungan apakah akan berhasil atau gagal, berapa lama terjadinya hubungan, berapa banyaknya hubungan yang terjadi, dan lain-lain yang berhubungan dengan masalah lalu lintas telepon, kejadiannya adalah secara acak dan tidak pasti. Karena itu dalam membahas masalah lalu lintas telepon dibutuhkan ilmu probabilitas. Teori probabilitas dapat digunakan untuk menganalisa dan memperhitungkan kejadian-kejadian yang berkaitan dengan lalu lintas telepon.

Teori probabilitas merupakan pengetahuan dasar untuk memahami prinsip dari trafik telepon. Dalam pembahasan tentang teori congestion juga tak lepas daripada teori probabilitas. Karena itu pada bab ini dibahas secara singkat tentang teori probabilitas. Dalam bab ini akan membahas tentang konsep dasar probabilitas, variabel acak, serta model-model probabilitas.

### III.2 KONSEP PROBABILITAS

Konsep probabilitas dalam arti matematik digunakan untuk menyatakan kemungkinan suatu event akan terjadi. Probabilitas A dapat didefinisikan sebagai perbandingan dari jumlah event A dengan jumlah total event atau kejadian yang mungkin.

Probabilitas diberikan dalam tiga aksioma sebagai berikut :<sup>7</sup>

$$1. P(S) = 1$$

Aksioma ini menunjukkan bahwa sample space  $S$  meliputi seluruh hasil/sekumpulan hasil yang mungkin dari suatu eksperimen.

$$2. P(E) \geq 0, \text{ event } E \text{ pada } S \text{ merupakan bilangan yang tidak negatif.}$$

$$3. P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2), \text{ jika } E_1 \cap E_2 = \phi$$

Probabilitas gabungan dari beberapa event dimana event-event tersebut mutually exclusive merupakan jumlah dari probabilitas tiap-tiap event itu sendiri.

Jika event-event itu tidak mutually exclusive maka :

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2) - P(E_1 \cap E_2)$$

Probabilitas dari komplemen event  $E$  adalah :

$$P(E) = 1 - P(\bar{E}) \dots\dots\dots (3-1)$$

Probabilitas bersyarat (conditional probability) dari suatu event  $A$  dengan syarat (kondisi)  $B$  dimana probabilitas  $B$

---

<sup>7</sup> Ir. A. Alkaff, HANDBOUT MATA KULIAH - PROBABILITAS DAN PROSES STOKASTIK, Hal:1

tidak nol dinyatakan dengan :

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \dots\dots\dots (3-2)$$

Jika event A dan B mutually exclusive, maka :

$$P(A \cap B) = 0$$

$$P(A|B) = 0$$

Jika A dan B independen :

$$P(A|B) = P(A)$$

$$P(A \cap B) = P(A) P(B)$$

Probabilitas event A pada sample space S dapat dinyatakan dalam probabilitas bersyarat. Diberikan N event  $B_n$  yang mutually exclusive, dimana  $n = 1, 2, \dots, N$ , maka probabilitas total event A adalah :

$$P(A) = \sum_{i=1}^N P(A|B_i) P(B_i) \dots\dots\dots (3-3)$$

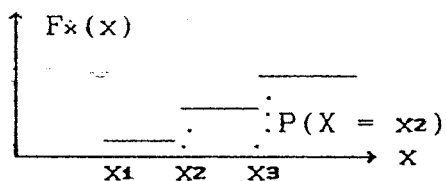
### III.3. VARIABEL ACAK

Variabel acak merupakan fungsi bernilai real yang didefinisikan pada ruang sample. Keacakan dari suatu variabel acak dinyatakan dengan suatu fungsi distribusi probabilitas.

$$F_X(x) = P[X \leq x] \dots\dots\dots(3-4)$$

Menurut bentuk dari  $F_X(x)$ , variabel acak dibedakan menjadi dua :

### 1. Variabel acak diskrit



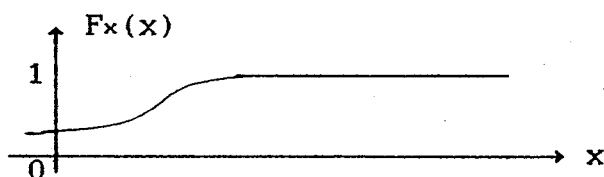
$x$  = variabel acak diskrit

$$F_X(x) = \sum P(X = x_i) u(X - x_i) \dots\dots\dots(3-5)$$

dimana  $u(.)$  merupakan fungsi unit step yang didefinisikan :

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(3-6)$$

### 2. Variabel acak kontinu.



$x$  : variabel acak kontinu

Sifat-sifat fungsi distribusi :

a.  $0 \leq F_X(x) \leq 1$



- b.  $F_x(-\infty) = 0$
- c.  $F_x(\infty) = 1$
- d.  $x_1 \leq x_2, F_x(x_1) \leq F_x(x_2)$

Fungsi kerapatan probabilitas didefinisikan sebagai turunan dari fungsi distribusi:

$$f_x(x) = \frac{dF_x(x)}{dx} \dots\dots\dots(3-7)$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) \dots\dots\dots(3-8)$$

Probabilitas  $x \geq a$  dan  $x \leq b$  dinyatakan dalam fungsi distribusinya :

$$\begin{aligned} P[a \leq X \leq b] &= \int_a^b f_x(x) dx \\ &= F_x(b) - F_x(a) \dots\dots\dots(3-9) \end{aligned}$$

Sifat-sifat kerapatan probabilitas :

$$1. f_x(x) \geq 0$$

$$\begin{aligned} 2. \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) dx &= F_x(\infty) - F_x(-\infty) \\ &= 1 - 0 = 1 \end{aligned}$$

Selain dinyatakan dengan fungsi probabilitas, keacakan dari suatu variabel acak untuk mudahnya dinyatakan dengan

momen-momennya.

Momen ke- $n$  dari variabel acak didefinisikan :

$$E\{X^n\} = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f_x(x) dx = \bar{X}^n \dots\dots\dots(3-10)$$

Momen yang pertama ( $n = 1$ ) disebut mean, dinotasikan  $\mu$  :

$$\mu = E\{X\} \dots\dots\dots(3-11)$$

Momen tengah yang ke- $n$  dari  $x$  didefinisikan sebagai :

$$E\{(x - \mu)^n\} = \int (x - \mu)^n f_x(x) dx \dots\dots\dots(3-12)$$

Momen tengah yang kedua disebut varians, dinotasikan  $\sigma^2$

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E\{(x - \mu)^2\} \\ &= \bar{X}^2 - \mu^2 \dots\dots\dots(3-13) \end{aligned}$$

### III.4. MODEL-MODEL FUNGSI PROBABILITAS<sup>8</sup>

#### III.4.1 MODEL EKSPONENSIAL

Model eksponensial dapat digunakan untuk menyatakan beda waktu antara dua kejadian, umur komponen elektronika.

---

<sup>8</sup> Ibid, hal.17

Fungsi kerapatan probabilitas :

$$f_x(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & x \text{ yang lain} \end{cases} \dots\dots\dots (3-14)$$

Fungsi distribusi probabilitas :

$$F_x(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & x \text{ yang lain} \end{cases} \dots\dots\dots (3-15)$$

$$E[X^n] = \frac{n!}{\lambda^n}$$

$$E[X] = \frac{1}{\lambda} \quad ; \quad E[X^2] = \frac{2}{\lambda^2}$$

$$\text{var}(x) = \frac{1}{\lambda^2}$$

#### III.4.2 MODEL ERLANG

Model Erlang digunakan untuk menyatakan lama pengerjaan tugas atau lama suatu kejadian berlangsung.

Fungsi kerapatan probabilitas :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda (\lambda x)^{n-1} e^{-\lambda x}}{(n-1)!} & x \geq 0 \\ 0 & x \text{ yang lain} \end{cases} \dots\dots (3-16)$$

Fungsi distribusi probabilitas :

$$F_x(x) = \begin{cases} 1 - \sum_{m=0}^{n-1} \frac{(\lambda x)^m e^{-\lambda x}}{m!} & x \geq 0 \\ 0 & x \text{ yang lain} \end{cases} \quad \dots(3-17)$$

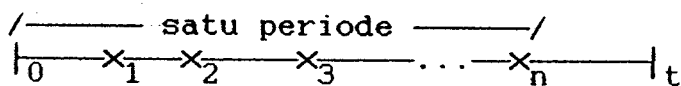
$$E(X) = \frac{n}{\lambda}$$

$$\text{var}(x) = \frac{n}{\lambda^2}$$

#### III.4.3 MODEL POISSON

Model Poisson dipakai untuk menyatakan banyaknya kejadian yang muncul secara acak dalam satu selang waktu.

$\lambda$  menyatakan rata-rata banyaknya kejadian dalam satu selang waktu (per satuan waktu).



banyaknya kejadian Poisson dengan laju  $\lambda$   
 beda waktu antar kejadian eksp. dengan mean  $(1/\lambda)$

$$P\{X = n\} = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots \dots \dots (3-18)$$

$$E(X) = \lambda$$

$$\text{var}(x) = \lambda$$

#### III.4.4 MODEL BINOMIAL (BERNOULLI)

Model Bernoulli dipakai untuk menyatakan banyaknya sukses dari  $m$  eksperimen yang dilakukan secara independen dengan tiap eksperimen memiliki probabilitas sukses sama dengan  $p$ .

$$P\{X = n\} = \binom{m}{n} p^n (1 - p)^{m-n} \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$E[X] = m. \quad \dots\dots\dots(3-19)$$

Dari uraian singkat di atas kita dapat menganalisa atau memperhitungkan suatu kejadian yang telah terjadi maupun yang akan terjadi dan membuat model probabilitasnya. Teori congestion juga tak lepas dari teori probabilitas.

Dari pembahasan pada pengertian lalulintas telepon dan teori probabilitas maka pada bab berikutnya akan dibahas tentang teori congestion dalam sistem telefoni.

## BAB IV

### TEORI CONGESTION DALAM SISTEM TELEFONI

#### IV.1 UMUM

Pada bab ini akan membahas trafik yang hilang atau trafik kongesti dalam sistem loss, sistem tunggu serta dalam sistem loss-delay. Bagian pertama akan membahas kongesti dalam sistem loss. Pada bagian ini akan ditentukan probabilitas loss, banyaknya trafik yang hilang, serta fungsi kongesti yang lain. Untuk pemecahan masalah digunakan proses kelahiran dan kematian (Birth & Death Process) untuk proses Markov sedang yang bukan Markov digunakan Proses Non-Markov.

Pada bagian kedua akan dibahas sistem tunggu. Pada bagian ini akan ditentukan probabilitas tunda, waktu tunggu, serta fungsi kongesti lainnya, untuk sistem dengan pelayanan tunggal maupun pelayanan banyak. Pada bagian akhir akan dibahas probabilitas tunda dan fungsi kongesti lainnya dalam sistem loss-delay.

Congestion (kemacetan) dalam sistem telefoni adalah suatu kondisi di dalam sentral dimana panggilan baru yang masuk tidak dapat dilayani seketika karena semua saluran sudah terpakai, sehingga panggilan tersebut terpaksa dibatal-

kan atau menunggu dalam sebuah antrian untuk dilayani. Teori congestion dalam sistem telefoni berhubungan dengan studi kuantitatif aliran trafik yang melalui sebuah sentral telepon otomatis (STO) dan penghitungan panggilan-panggilan yang hilang atau tertunda selama melalui lintasan sentral tersebut.

Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi pemecahan masalah kemacetan telepon adalah sebagai berikut :<sup>9</sup>

1. Sifat-sifat dari panggilan-panggilan yang masuk dan panggilan-panggilan yang diterminasikan.
2. Nasib atau kelakuan panggilan-panggilan yang gagal
3. Struktur atau susunan dari sistem.

Jika diketahui karakteristik trafik dan struktur dari sistem maka berapa banyak device dalam sebuah grup atau berapa banyak grup setiap tingkat yang harus tersedia sehingga gangguan yang disebabkan pelanggan tidak melebihi batas yang ditentukan.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut diperlukan model-model matematika yang diambil berdasarkan asumsi-asumsi yang berhubungan dengan sifat-sifat panggilan sebagai proses input. Model-model matematika tersebut ada pada teori probabilitas dan proses stokastik.

Panggilan-panggilan yang masuk (incoming calls)

---

<sup>9</sup> R. Syski, INTRODUCTION TO CONGESTION THEORY IN TELEPHONE SYSTEMS, North Holland Amsterdam, Second Edition, 1986, hal.14

sebagai proses input , terjadi secara acak. Waktu antar kedatangan panggilan dinyatakan dengan hukum probabilitas. Begitu pula waktu genggam (holding time) sebagai proses terminasi kejadiannya juga acak , dan dinyatakan dengan hukum probabilitas. Proses congestion adalah suatu proses stokastik dengan variabel acaknya adalah banyaknya device yang diduduki atau jumlah panggilan yang tertunda dan sedang menunggu pelayanan atau berubah-ubahnya variabel waktu misalnya proses input dan proses terminasi. Pemecahan permasalahan tidak dapat dilakukan secara tepat , tapi hanya merupakan probabilitas atau hanya rata-rata yang dapat diberikan.

Dalam sistem loss ada 2 fungsi kemacetan yaitu time congestion dan call congestion. Time congestion adalah perbandingan antara selang waktu dimana terjadi kemacetan dengan waktu total dari pengamatan. Call congestion adalah probabilitas bahwa panggilan yang datang akan menemui kemacetan dan dibuang atau perbandingan antara panggilan yang hilang dengan panggilan yang ditawarkan atau panggilan yang hilang pada periode tertentu. Call dan time congestion juga disebut probabilitas loss dan probabilitas blocking.

Dalam sistem link dapat terjadi kemacetan didalam yang disebut internal congestion. Probabilitas terjadinya dinyatakan dengan time congestion.

Dalam sistem tunda (delay system) fungsi kemacetannya



adalah probabilitas penundaan (probability of delay) , rata-rata waktu tunggu , rata-rata jumlah panggilan yang menunggu. Probabilitas penundaan adalah perbandingan panggilan-panggilan yang tertunda dari total pengamatan dalam periode tertentu.

Dalam aplikasi teknik digunakan derajat pelayanan (Grade of Service) sebagai ukuran pelayanan yang diberikan peralatan switching dalam sistem. GOS juga merupakan tujuan pada obyek perhitungan dari ketidaknyamanan pelanggan.

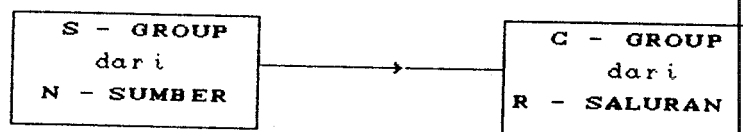
## IV.2 SISTEM KERUGIAN (LOSS SYSTEM)

### IV.2.1 KARAKTERISTIK UMUM

#### IV.2.1.1 GAMBARAN SISTEM

Sistem terdiri dari S grup yang berisi N device yang membangkitkan trafik, misalnya pelanggan, switch-switch, atau line masuk, dan C grup yang berisi R device dimana trafik ditawarkan oleh sumber. Yang termasuk dalam grup C misalnya selektor-selektor atau trunk-trunk.

Hubungan antar grup tersebut diatur dalam beberapa cara sehingga beberapa sumber mempunyai jalan masuk ke beberapa saluran.

GAMBAR 4-1<sup>1</sup>

## GROUP SISTEM KETERSEDIAAN PENUH

Sistem diasumsikan bahwa semua saluran bebas adalah tersedia penuh (full availability) untuk panggilan-panggilan dari sumber. Jika  $R \geq N$ , ketika panggilan yang masuk menemui semua saluran terpakai panggilan akan menemui kemacetan dan digagalkan seketika. Untuk  $N = R$  tidak akan terjadi kegagalan panggilan.

Dalam sistem loss ada 2 macam, yaitu :<sup>11</sup>

- Lost Call Cleared (L) : Dalam sistem ini jika panggilan menemui kemacetan maka panggilan akan digagalkan seketika itu juga.
- Lost Call Held (Lh) : Jika panggilan menjumpai kemacetan karena tak ada saluran yang bebas maka sumber yang membangkitkan panggilan tersebut akan terus menuntut pelayanan untuk waktu yang sama dengan waktu genggam yang seharusnya dicapai oleh panggilan tersebut seandainya berhasil. Jika selama waktu tersebut saluran menjadi bebas, saluran akan

---

<sup>1</sup>ibid, hal.88

<sup>11</sup>ibid, hal.90

diikat dan digenggam untuk selama sisa waktu dimana sumber sibuk.

Jumlah saluran yang sibuk dalam sebuah grup sama dengan jumlah anggota sumber yang sibuk, kecuali dalam sistem Lh. Jika jumlah sumber sibuk melebihi jumlah total saluran maka semua saluran adalah sibuk. Sumber yang membangkitkan panggilan sering diasumsikan acak dan bebas terhadap keadaan sistem.

Proses input sering dilukiskan sebagai fungsi distribusi dari waktu antar kedatangan panggilan yang dibangkitkan S grup.  $T_r$  menyatakan waktu antara panggilan ke  $r-1$  dan panggilan ke  $r$ , adalah bebas dan mempunyai fungsi distribusi  $U(t)$  yang sama, dengan fungsi kerapatan  $u(t)$  dan harga rata-rata  $1/\lambda$ . Proses input juga dapat dilukiskan dengan variabel acak  $X(t)$  yang menyatakan jumlah panggilan yang masuk sampai saat  $t$ .

Proses terminasi  $\{L_r, r=1,2,\dots\}$ , dimana variabel acak  $L_r$  menyatakan waktu genggam dari panggilan ke  $r$  adalah bebas dan mempunyai fungsi distribusi  $F(t)$  yang sama dengan fungsi kerapatan  $f(t)$  dan harga rata-rata  $1/\mu$ . Proses input dan proses terminasi bebas satu sama yang lain. Ini berarti bahwa waktu genggam panggilan tidak tergantung jarak antara panggilan yang masuk.

Jika dianggap  $Y(t)$  adalah variabel acak jumlah sumber yang sibuk dalam S grup dari N sumber dan  $P(j,t)$  adalah probabilitas pada waktu  $t$  ada  $j$  sumber sibuk maka

$$\text{pr}\{Y(t)=j\} = P(j,t) \quad , \quad j=0,1,2,\dots \quad (4-1)$$

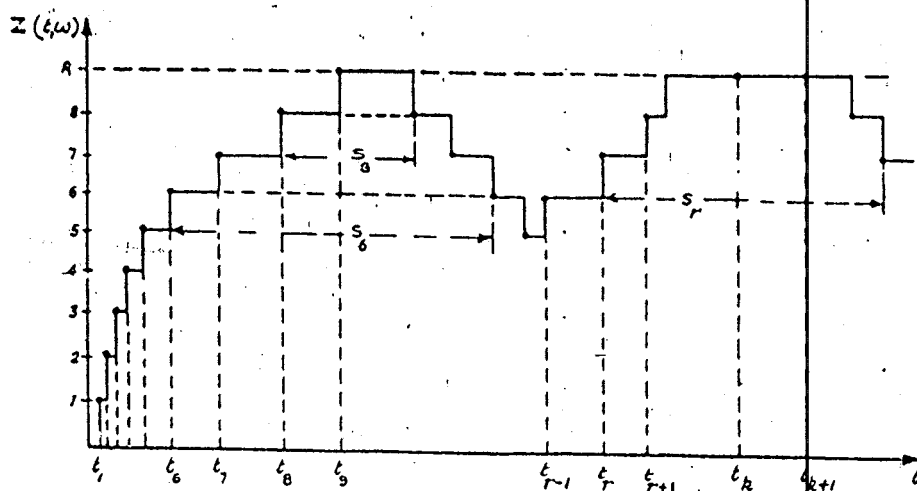
$$\sum_{j=0}^N P(j,t) = 1 \quad \dots \quad (4-2)$$

Jika dianggap  $Z(t)$  adalah variabel acak jumlah saluran sibuk di dalam C grup dari R saluran dan  $Q(i,t)$  adalah probabilitas pada saat  $t$  ada  $i$  saluran sibuk, maka

$$\text{pr}\{Z(t)=i\} = Q(i,t) \quad , \quad i=0,1,2,\dots \quad (4-3)$$

$$\sum_{i=0}^R Q(i,t) = 1 \quad \dots \quad (4-4)$$

Dalam kondisi seimbang fungsi probabilitas  $Y(t)$  dan  $Z(t)$  dinyatakan dengan  $P(j)$  dan  $Q(i)$ . Proses  $\{Y(t), t \geq 0\}$  dan  $\{Z(t), t \geq 0\}$  menggambarkan proses congestion pada S grup dan C grup. Proses  $Z(t)$  digambarkan sebagai kurva langkah naik turun seperti tampak pada gambar 4-2. Panggilan datang pada saat  $t_1, t_2, \dots, t_r, \dots$  dan beda  $t_r - t_{r-1}$  adalah variabel acak  $Tr$ . Panggilan ke  $r$  mulai pada saat  $t_r$  dengan waktu genggam  $L_r$  yang dinyatakan dengan selang  $sr$ . Untuk panggilan yang digagalkan  $sr=0$ .



GAMBAR 4-2<sup>12</sup>

REALISASI PROSES CONGESTION

<sup>12</sup>Ibid, hal.93

#### IV.2.1.2 PENGERTIAN KERUGIAN (LOSS)<sup>13</sup>

Ada 2 jenis kemacetan, yaitu :

- Time congestion  $S(t)$
- Call congestion  $\Pi(t)$

Time congestion  $S(t)$  adalah probabilitas bahwa pada saat  $t$  semua device dalam grup device sibuk. Call congestion  $\Pi(t)$  adalah probabilitas keadaan bahwa pada saat  $t$  grup dalam keadaan ditahan (diblok) ketika panggilan datang.

Dalam keadaan seimbang time dan call congestion adalah bebas terhadap waktu dan dilambangkan dengan  $S$  dan  $\Pi$ .

Time congestion dalam sistem  $L$  dinyatakan dengan

$$S(t) = \text{pr}\{Z(t) \geq R\} = Q(R, t) \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

dalam keadaan seimbang harganya  $Q(R)$ . Untuk sistem  $L_h$ ,  $C$  grup di-block ketika  $R$  sumber disewa, time congestion diberikan oleh :

$$S(t) = \text{pr}\{Y(t) \geq R\} = \sum_{j=R}^N P(j, t) \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

Untuk kondisi seimbang  $P(j, t) = P(j)$ . Probabilitas semua sumber sibuk adalah  $P(N, t)$  dan untuk  $N$  tak hingga  $P(N, t)$  diabaikan.

Untuk call congestion dapat dinyatakan dengan :

$$\Pi(t) = S(t) \frac{P_b(a)}{P(a)} \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

<sup>13</sup> Locit.

dimana  $P_b(a)$  adalah probabilitas keadaan bahwa panggilan datang pada grup ketika grup tersebut diblock.  $P(a)$  adalah probabilitas panggilan yang terjadi dari sumber.

Untuk input Poisson, probabilitas panggilan baru adalah bebas terhadap keadaan grup, sehingga  $P_b(a) = P(a)$  dan  $S(t) = \Pi(t)$ .

#### IV.2.1.3 TRAFIK<sup>14</sup>

Ada beberapa hubungan yang penting antara sistem L dan sistem Lh.

Dalam sistem L : panggilan-panggilan yang hilang ketika semua saluran sibuk dan panggilan-panggilan tersebut tak mungkin melebihi dari R sumber menjadi sibuk secara serentak. Variabel acak  $Y(t)$  dan  $Z(t)$  adalah identik sehingga  $Q(i,t) = P(j,t)$  untuk  $i = j \leq R$  dan  $P(j,t) = 0$  untuk  $j > R$ .

$$\text{pr}\{Z(t)=j\} = P(j,t), \quad j=0,1,\dots,R \quad \dots\dots\dots(4-8)$$

Jumlah rata-rata sumber sibuk dan jumlah rata-rata saluran sibuk pada saat t adalah sama.

$$E\{Y(t)\} = E\{Z(t)\} \quad \dots\dots\dots(4-9)$$

Trafik yang ditawarkan  $\{A(t)\}$  adalah jumlah rata-rata panggilan yang dibangkitkan selang waktu genggam rata-rata. Trafik congestion  $\Pi_o(t)$  adalah perbandingan dari trafik yang hilang dan trafik yang ditawarkan

$$\Pi_o(t) = \frac{A(t) - E\{Z(t)\}}{A(t)} \quad \dots\dots\dots(4-10)$$

<sup>14</sup> Ibid, Hal. 95

Untuk  $R = N$  tidak ada panggilan yang hilang karena selalu ada saluran yang bebas untuk panggilan yang masuk, sehingga  $\Pi_0(t) = 0$  dan  $P(R, t)$  diabaikan.

Dalam sistem-Lh panggilan-panggilan hilang ketika saluran sibuk tapi ada kemungkinan lebih dari  $R$  sumber sibuk secara serentak. Probabilitas  $j$  saluran sibuk :

$$\text{pr}\{Y(t)=j|\delta(t)=1\} = \frac{P(j, t)}{\sum_{j=0}^R P(j, t)} \dots\dots\dots(4-11)$$

$\delta(t)$  adalah variabel acak yang berharga 1 jika  $j$  sumber sibuk tidak diblok dan 0 untuk kondisi lainnya.

$$E\{Z(t) = \text{pr}\{\delta(t)=1\} E\{Y(t) |\delta(t)=1\}$$

$$E\{Z(t) = \sum_{j=0}^R j P(j, t) \dots\dots\dots(4-12)$$

$$E\{Y(t)\} = A(t) \dots\dots\dots(4-13)$$

$$\Pi_0(t) = \frac{E\{Y(t) - E\{Z(t)\}}{E\{Y(t)\}}$$

Sehingga diperoleh trafik kemacetan :

$$\Pi_0(t) = \frac{1}{A(t)} \sum_{j=R+1}^N jP(j, t) \dots\dots\dots(4-14)$$

#### IV.2.2 PROSES KELAHIRAN DAN KEMATIAN (B & D PROCESS)<sup>15</sup>

Proses B & D merupakan hasil presentasi klasik dari Teori Congestion dalam sistem telefoni pada sistem loss yang merupakan hasil pernyataan bersama antara Erlang, Molina, Engset dan O'Dell.

Proses B & D dikarakteristikan dengan probabilitas peralihan :

$$pr\{Y(t)=j|Y(s)=i\} = P(i,s;j,t) ; t \geq s$$

yang berarti probabilitas kondisional sistem dalam state  $j$  saat  $t$ , dimana sebelumnya saat  $s$  sistem dalam state  $i$ . Untuk proses Markov yang homogen probabilitas peralihan adalah bebas terhadap  $s$ , sehingga ditulis  $P(i;j,t)$  yang berarti probabilitas kondisional jika sistem dalam state  $i$  pada kondisi awal ke state  $j$  saat  $t$ .

Untuk menentukan  $P(i;j,t)$  digunakan beberapa asumsi proses B & D sebagai berikut :

1. Perubahan sistem hanya melalui transisi dari state ke state terdekatnya (hanya dari  $j$  ke  $j+1$  atau  $j-1$  jika  $0 < j < N$ , hanya dari  $0$  ke  $1$  dan dari  $N$  ke  $N-1$ )
2. Jika pada saat  $t$  sistem dalam state  $j$ , maka probabilitas kondisional bahwa selama  $(t, t+dt)$  peralihan dari  $j$  ke  $j+1$  (jika  $j < N$ ) terjadi adalah

$$pr\{Y(t+dt)=j+1|Y(t)=j\} = \lambda_j dt + o(dt)$$

---

<sup>15</sup> Ibid, hal.103



dimana  $\lambda_j$  adalah konstanta bukan negatif tergantung pada  $j$ .

3. Jika pada saat  $t$  sistem dalam state  $j$ , maka probabilitas kondisional bahwa selama  $(t, t+dt)$  peralihan dari  $j$  ke  $j-1$  (jika  $j > 0$ ) terjadi adalah

$$\text{pr}\{Y(t+dt)=j-1|Y(t)=j\} = \mu_j dt + o(dt)$$

dimana  $\mu_j$  adalah konstanta bukan negatif tergantung  $j$ .

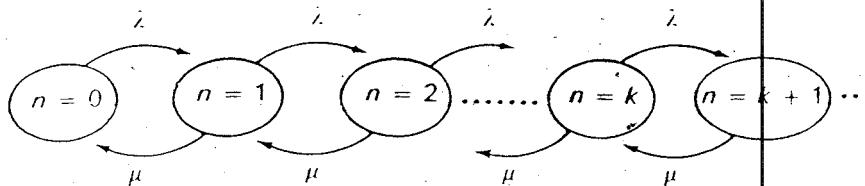
4. Probabilitas lebih dari satu peralihan selama  $(t, t+dt)$  adalah  $o(dt)$ .

Perubahan dari  $j$  ke  $j+1$  (proses kelahiran) disebabkan oleh pembangkitan panggilan baru oleh sumber, sedang perubahan dari  $j$  ke  $j-1$  (proses kematian) dihasilkan dari terhubungnya panggilan khusus sebagai kelanjutannya. Jika pada saat  $t$  sistem dalam state  $j$ , maka probabilitas terjadi perubahan dalam selang  $(t, t+dt)$  adalah  $(\lambda_j + \mu_j)dt + o(dt)$ . Jika perubahan terjadi maka peluang kelahiran adalah  $\lambda_j / (\lambda_j + \mu_j)$  dan peluang kematian adalah  $\mu_j / (\lambda_j + \mu_j)$ .  $\lambda_j$  adalah koefisien kelahiran atau laju panggilan dan  $\mu_j$  adalah koefisien kematian atau laju terminasi.

Jika pada saat ada  $n$  pelanggan ( $n > 0$ ), maka :

- Untuk probabilitas  $\lambda dt$  akan ada  $n+1$  saat  $t+dt$
- Untuk probabilitas  $\mu dt$  akan ada  $n-1$  saat  $t+dt$
- Untuk probabilitas  $1 - (\lambda + \mu)dt$  akan ada  $n$  saat  $t+dt$ .

Untuk menurunkan persamaan proses B&D dapat dijelaskan melalui model grafik seperti terlihat pada gambar 4-3. Tiap lingkaran menggambarkan sebuah state,

GAMBAR 4-3<sup>16</sup>

## PROSES B &amp; D DENGAN PELAYANAN TUNGGAL

untuk  $n=0$  menunjukkan sistem kosong dan server istirahat,  $n=1$  ada satu pelanggan dalam pelayanan, dan seterusnya. Tanda panah ( $n=k$  ke  $n=k+1$ ) menggambarkan kedatangan dari pelanggan yang bertambah jumlahnya dari  $n$  ke  $n+1$ , laju kejadiannya ditunjukkan dengan  $\lambda$ . Sedangkan laju terjadinya pelayanan ditunjukkan  $\mu$ .

Untuk mempersingkat penulisan persamaan proses B&D,  $P(i;j,t)$  ditulis dengan  $P_k(t)$ .

$$\begin{aligned}
 P_k(t+dt) &= P_k(t) + \frac{dP_k(t)}{dt} dt \\
 &= P_k(t)(1-\lambda dt - \mu dt) + P_{k-1}(t)\lambda dt + P_{k+1}(t)\mu dt \\
 P_0(t+dt) &= P_0(t)(1-\lambda dt) + P_1(t)\mu dt
 \end{aligned}$$

<sup>16</sup> Hebuterne, G, TRAFFIC FLOW IN SWITCHING SYSTEMS, Artech House INC, Norwood USA, 1987, hal.20

Yang berarti sistem dalam state  $k$  saat  $t+dt$ , jika ini ada saat  $t$  dan tak ada kejadian apapun, atau jika sistem ada dalam state  $k-1$  dan terjadi kedatangan atau akhirnya sistem dalam state  $k+1$  dan terjadi kekosongan.

Untuk kasus steady state,  $dP_k/dt=0$  sehingga dapat diturunkan :

$$\lambda P_0 = \mu P_1$$

$$\vdots$$

$$(\lambda + \mu) P_k = \lambda P_{k-1} + \mu P_{k+1} \quad k > 1$$

$$\sum_{k \geq 0} P_k = 1 \quad \dots\dots\dots(4-15)$$

Persamaan (4-15) disebut persamaan normalisasi.

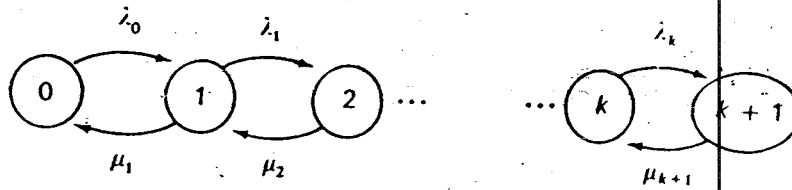
Dari gambar 4-3 dapat diturunkan bahwa probabilitas flux state yang masuk  $\lambda P_{k-1} + \mu P_{k+1}$  harus sama dengan flux yang meninggalkannya  $(\lambda + \mu) P_k$ .

Penyelesaian secara rekursi diperoleh :

$$P_k = \left[ \frac{\lambda}{\mu} \right]^k P_0 \quad \dots\dots\dots(4-16)$$

$$\begin{aligned} P_0 &= \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \dots + \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \dots \right]^{-1} \\ &= 1 - \lambda/\mu \quad \dots\dots\dots(4-17) \end{aligned}$$

Metode server tunggal tersebut dapat dipakai untuk menurunkan persamaan B&D secara umum (gambar 4-4).

GAMBAR 4-4<sup>17</sup>

## PROSES B &amp; D SECARA UMUM

Dari diagram di atas diperoleh persamaan state :

$$\lambda_0 P_0 = \mu_1 P_1$$

·  
·

$$(\lambda_k + \mu_k) P_k = \lambda_{k-1} P_{k-1} + \mu_{k+1} P_{k+1}$$

dan persamaan normalisasi  $\sum_{k \geq 0} P_k = 1$

Penyelesaian persamaan sistem :

$$P_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0$$

$$P_2 = \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\mu_1 \mu_2} P_0$$

·

·

·

Jadi secara umum diperoleh :

$$P(j) = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{j-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_j} P_0$$

---

<sup>17</sup>Ibid, hal. 21

$$P(j) = \left[ \prod_{i=0}^{j-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right] P_0 \dots\dots\dots (4-18)$$

$$P_0 = \left[ 1 + \sum_{j \geq 1} \prod_{i=0}^{j-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right]^{-1} \dots\dots\dots (4-19)$$

#### PENYELESAIAN PERSAMAAN B&D<sup>18</sup>

Untuk memperoleh penyelesaian proses B & D diperlukan harga-harga koefisien kelahiran  $\lambda_j$  dan koefisien kematian  $\mu_j$ .

Asumsi-asumsi untuk menentukan harga koefisien kelahiran  $\lambda_j$  adalah :

B1 : Probabilitas panggilan baru dalam  $(t, t+dt)$  adalah sebanding dengan sumber-sumber yang bebas.

$$\lambda_j = (N-j)\lambda, \quad j=0,1,\dots,N \quad (N \text{ terbatas})$$

B2 : Probabilitas panggilan baru dalam  $(t, t+dt)$  adalah bebas terhadap jumlah sumber yang sibuk.

$$\lambda_j = \lambda, \quad j=0,1,\dots \quad (N \text{ tak hingga})$$

B3 : Probabilitas panggilan baru dalam  $(t, t+dt)$  adalah bebas terhadap jumlah sumber yang sibuk, jika tidak semua sumber adalah sibuk, dalam hal ini  $\lambda_j$  adalah 0.

$$\lambda_j = j\lambda, \quad j=0,1,\dots,N-1$$

$$\lambda_N = 0 \quad (N \text{ terbatas})$$

<sup>18</sup>R. Syski, *Opcit*, hal.132

B4 : Probabilitas panggilan baru dalam  $(t, t+dt)$  adalah bebas terhadap jumlah sumber yang sibuk. (kecuali untuk  $j=0$  dan  $j=N$ )

$$\lambda_j = j\lambda, \quad j=1,2,\dots,N-1$$

$$\lambda_0 = \lambda$$

$$\lambda_N = 0 \quad (N \text{ terbatas atau tidak})$$

B5 : Koefisien kelahiran adalah linear dari jumlah sumber sibuk.

$$\lambda_j = \alpha + j\beta, \quad j=0,1,\dots,N-1$$

$$\lambda_N = 0 \quad (N \text{ terbatas atau tidak})$$

Kondisi  $\lambda_N = 0$  berarti sumber-sumber yang sibuk membuat tak ada panggilan.

Asumsi-asumsi untuk menentukan harga koefisien kematian  $\mu_j$  adalah :

D1 : Probabilitas panggilan yang terhubung dalam  $(t, t+dt)$  adalah sebanding dengan jumlah sumber sibuk.

$$\mu_j = j\mu, \quad j=0,1,\dots,N \quad (N \text{ terbatas atau tidak})$$

D2 : Probabilitas panggilan yang terhubung dalam  $(t, t+dt)$  adalah bebas terhadap jumlah sumber-sumber yang sibuk.

$$\mu_j = \mu, \quad j=1,2,\dots,N$$

$$\mu_0 = 0 \quad (N \text{ terbatas atau tidak})$$

D3 : Probabilitas panggilan yang terhubung dalam  $(t, t+dt)$  adalah sebanding dengan jumlah sumber yang bebas.

$$\mu_j = (N-j)\mu, \quad j=1,2,\dots,N-1$$

$$\mu_0 = 0$$

$$\mu_N = \mu \quad (N \text{ terbatas})$$

Untuk menyelesaikan persamaan B & D dilakukan dengan kombinasi antara kedua asumsi di atas, baik untuk sistem L dan Lh. Ada 4 rumusan klasik dalam sistem loss yaitu :<sup>19</sup>

Bernoulli :  $B1 - D1 - (Lh)$

Poisson :  $B2 - D1 - (Lh)$

Engset :  $B1 - D1 - (L)$

Erlang :  $B2 - D1 - (L)$

Bentuk khusus untuk  $R=N=\infty$  yang sesuai dengan sistem M/M/R adalah B2 - D1 untuk sistem L dan Lh.

Penyelesaian untuk N secara umum dari persamaan B & D adalah sebagai berikut :

-Untuk sistem Lh :

1.  $B1 - D1 - (Lh)$

Dengan menggunakan koefisien-koefisien yang telah ditentukan dalam asumsi B1 dan D1, dapat ditentukan :

$$P(j) = \left[ \begin{matrix} N \\ j \end{matrix} \right] \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right)^j \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right)^{N-j} \dots \dots \dots (4-20)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa probabilitas j sumber sibuk dalam kondisi seimbang dinyatakan dengan distribusi Bernoulli dengan parameter

$$a = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \dots \dots \dots (4-21)$$

---

<sup>19</sup> Syski, Op cit., hal.149

dimana  $a$  adalah probabilitas bahwa sumber tunggal sibuk pada waktu tertentu dalam kondisi seimbang.

Jumlah rata-rata sumber sibuk :

$$E\{Y(t)\} = N a + (i - N a) e^{-(\lambda + \mu)t} \dots\dots\dots (4-22)$$

Harga limitnya :

$$E\{Y(t)\} = N a = A \dots\dots\dots (4-23)$$

dimana  $a$  adalah trafik yang ditawarkan tiap tiap sumber:

Jika  $c$  adalah laju panggilan tiap sumber maka :

$$a = c T \dots\dots\dots (4-24)$$

Dalam kondisi seimbang diperoleh :

Time congestion :

$$S = \sum_{j=R}^N \left[ \begin{matrix} N \\ j \end{matrix} \right] a^j (1-a)^{N-j} \dots\dots\dots (4-25)$$

Call congestion :

$$\Pi = \sum_{j=R}^{N-1} \left[ \begin{matrix} N-1 \\ j \end{matrix} \right] a^j (1-a)^{N-1-j} \dots\dots\dots (4-26)$$

## 2. B2 - D1 - (Lh)

Dengan menggunakan koefisien yang diasumsikan pada B2 dan D1 maka :

$$P(j) = \frac{\left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j}{j!} e^{-(\lambda/\mu)}, j=0,1,\dots \dots\dots (4-27)$$

Persamaan di atas merupakan distribusi Poisson untuk



probabilitas  $j$  sumber sibuk dalam kondisi seimbang.

Harga rata-rata :

$$E\{Y(t)\} = \frac{\lambda}{\mu} + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) e^{-\mu t} \dots\dots\dots (4-28)$$

dengan harga limit :

$$E\{Y(t)\} = \frac{\lambda}{\mu} = A \dots\dots\dots (4-29)$$

dimana  $\lambda = C$  dan  $\mu = 1/T$ .

Dalam kondisi seimbang diperoleh :

$$S = \Pi = \sum_{j=R}^{\infty} \frac{A^j}{j!} e^{-A} \dots\dots\dots (4-30)$$

### 3. B3 - D1 - (Lh)

Dengan menggunakan koefisien-koefisien yang diasumsikan B3 dan D1 diperoleh :

$$P(j) = \frac{\frac{1}{j!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j}{\sum_{j=0}^N \frac{1}{j!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j} \quad j=0,1,\dots,N \dots\dots\dots (4-31)$$

Trafik yang ditawarkan :

$$A = \frac{\lambda}{\mu} [1 - P(N)] = C T \dots\dots\dots (4-32)$$

Time congestion :

$$S = \frac{\sum_{j=R}^N \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j}{\sum_{j=0}^N \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j} \dots\dots\dots (4-33)$$

Call congestion :

$$\Pi = \frac{\lambda}{C} \frac{\sum_{j=R}^N \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j}{\sum_{j=0}^N \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j} \dots\dots\dots (4-34)$$

#### 4. B4 - D1 - (Lh)

Dengan menggunakan koefisien pada asumsi B4 dan D1 dalam kondisi seimbang maka diperoleh :

$$P(j) = P(0) \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \quad j=1,2,\dots,N \quad \dots\dots\dots (4-35)$$

dimana

$$\frac{1}{P(0)} = 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^2 + \dots + \frac{1}{N} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^N \dots\dots\dots (4-36)$$

Harga rata-rata :

$$A = P(0) \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^N \right] \dots\dots\dots (4-37)$$

Time congestion adalah :

$$S = P(0) \sum_{j=R}^N \frac{1}{j} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \dots\dots\dots (4-38)$$

dan call congestion :

$$\Pi = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^R - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^N}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^N} \dots\dots\dots (4-39)$$

5. B5 - D1 - (Lh)

Dengan menggunakan asumsi B5 dan D1 dalam kondisi seimbang dan N tak terbatas maka :

$$P(j) = \left[ \frac{\alpha/\beta + j - 1}{j} \right] \left[ 1 - \frac{\beta}{\mu} \right]^{\alpha/\beta} \left[ \frac{\beta}{\mu} \right]^j \dots\dots\dots (4-40)$$

$$j = 0, 1, 2, \dots \quad \text{dan} \quad \beta < \mu$$

Untuk kasus  $\alpha/\beta$  bulat, misalnya k, persamaan tersebut adalah distribusi Pascal. Jika  $\beta = \lambda$  harga rata-rata :

$$A = \frac{k\lambda}{\mu - \lambda} \quad \mu > \lambda \dots\dots\dots (4-41)$$

Jika k=1 maka :

$$\lambda_j = (j+1)\lambda \quad \mu_j = j\mu \quad j=0, 1, 2, \dots$$

dan

$$P(j) = \left[ 1 - \frac{\lambda}{\mu} \right] \left[ \frac{\lambda}{\mu} \right]^j \quad \lambda < \mu$$

sehingga :

$$S = \left[ \frac{\lambda}{\mu} \right]^R \dots\dots\dots (4-42)$$

dan

$$\Pi = \left[ \frac{\lambda}{\mu} \right]^R \left[ 1 + R \left( 1 - \frac{\lambda}{\mu} \right) \right] \dots\dots\dots (4-43)$$

-Untuk sistem L :

1. B1 - D1 - (L)

Dengan menggunakan koefisien kelahiran  $\lambda_j = \lambda'(N-j)$  ,  
 $j=0,1,\dots,R$  dan koefisien kematian  $\mu_j = j\mu$  maka :

$$Q(j) = \frac{\binom{N}{j} \left(\frac{\lambda'}{\mu}\right)^j}{\sum_{j=0}^R \binom{N}{j} \left(\frac{\lambda'}{\mu}\right)^j} \quad j=0,1,\dots,R \quad \dots\dots\dots (4-44)$$

Persamaan di atas terkenal dengan distribusi Engset.

Time congestion adalah :

$$S = \frac{\binom{N}{R} \left(\frac{\lambda'}{\mu}\right)^R}{\sum_{j=0}^R \binom{N}{j} \left(\frac{\lambda'}{\mu}\right)^j} \quad \dots\dots\dots (4-45)$$

dan call congestion :

$$\Pi = \frac{\binom{N-1}{R} \left(\frac{\lambda'}{\mu}\right)^R}{\sum_{j=0}^R \binom{N}{j} \left(\frac{\lambda'}{\mu}\right)^j} \quad \dots\dots\dots (4-46)$$

2. B2 - D1 - (L)

Koefisien kelahiran  $\lambda_j = \lambda = C$  untuk  $j=0,1,\dots,R$ , dan koefisien kematian adalah  $j\mu$ . Untuk jumlah sumber tak hingga, jumlah saluran R dan input adalah Poisson dan waktu genggam eksponensial maka trafik yang ditawarkan adalah :

$$A = \frac{\lambda}{\mu} \dots\dots\dots (4-47)$$

Untuk kondisi seimbang persamaan B&D diperoleh :

$$Q(j) = \frac{\frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j}{\sum_{j=0}^R \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j} \quad j=0,1,\dots,R \quad \dots\dots\dots (4-48)$$

Persamaan tersebut adalah rumus Erlang untuk probabilitas  $j$  saluran sibuk.

Time dan call congestion :

$$S = \Pi = \frac{\frac{A^R}{R!}}{\sum_{j=0}^R \frac{A^j}{j!}} \dots\dots\dots (4-49)$$

Persamaan di atas adalah rumus Erlang loss (Rumus B)  $[E_R(A)]$ .  $E_R(A)$  dipakai untuk perhitungan trafik jika  $N$  terbatas tapi cukup besar dibandingkan dengan  $R$ .

Harga rata-rata yang merupakan pernyataan untuk traffic carried dari grup saluran.

$$\begin{aligned} E\{Z(t)\} &= \frac{\lambda}{\mu} [1 - Q(R)] \\ &= A [1 - E_R(A)] \quad \dots\dots\dots (4-50) \end{aligned}$$

### 3. B3 - D1 - (L)

Koefisien kelahiran  $\lambda_j = \lambda'$ ,  $\lambda_N = 0$  dan koefisien kematian  $j\mu$  dan  $C = \lambda'$ , sehingga trafik yang ditawarkan

diperoleh :

$$A = \frac{\lambda'}{\mu}$$

Untuk  $\lambda = \lambda' = c$  dengan  $N > R$ , jumlah sumber terbatas maka  $Q(j)$ ,  $S$  dan  $\Pi$  sama seperti kasus (2). Untuk  $N \leq R$ , jumlah saluran yang sibuk paling besar adalah  $N$ ,

$$Q(j) = \frac{\frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^j}{\sum_{j=0}^N \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^j} \quad j=0,1,\dots,R \quad \dots\dots\dots (4-51)$$

$$S = Q(N) \quad \dots\dots\dots (4-52)$$

$$\Pi = 0 \quad \dots\dots\dots (4-53)$$

#### 4. B4 - D1 - (L)

$\lambda_0 = \lambda'$ ,  $\lambda_j = j\lambda'$ ,  $j=1,2,\dots,R$  dan koefisien kematian  $j\mu$ , dalam kondisi seimbang :

$$Q(j) = Q(0) \frac{1}{j} \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^j \quad \dots\dots\dots (4-54)$$

dengan

$$\frac{1}{Q(0)} = 1 + \frac{\lambda'}{\mu} + \dots + \frac{1}{R} \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^R \quad \dots\dots\dots (4-55)$$

Trafik yang ditawarkan :

$$A = \frac{\lambda'}{\mu} \left[ E\{Z(t)\} + Q(0) \right] \quad \dots\dots\dots (4-56)$$

Traffic carried :

$$E\{Z(t)\} = \frac{Q(0)\lambda'}{\mu - \lambda'} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^R \right] \dots\dots\dots(4-57)$$

Time congestion :

$$S = Q(0) \frac{1}{R} \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^R \dots\dots\dots(4-58)$$

Call congestion :

$$\pi = \frac{\lambda'}{C} \left( \frac{\lambda'}{\mu} \right)^R Q(0) \dots\dots\dots(4-59)$$

dengan  $C = A \mu$ .

Rumus di atas tidak melibatkan N. Jika  $R=N$  maka  $\pi$  diabaikan.

Persamaan hanya mungkin untuk  $R=\infty$ ,  $\lambda' < \mu$ .

Semua bentuk penyelesaian di atas berlaku untuk waktu genggam yang distribusi eksponensial negatif dengan mean  $1/\mu$  dan pembangkitan panggilan yang random oleh sumber dengan mean  $1/\lambda$  atau  $1/\lambda'$ , kecuali kasus B2 - D1.

Dari penyelesaian tersebut diperoleh hubungan dasar yaitu :

Traffic offered :  $A = CT$

Traffic carried :  $C_o T = A(1 - \Pi)$ .

#### IV.2.3 PROSES NON-MARKOVIAN

Proses kemacetan dalam sistem loss pada umumnya bukan Markovian. Penyelesaian yang paling sederhana adalah dengan menggunakan persamaan B & D, tetapi jika yang dipelajari

dengan input dan waktu genggam yang bermacam-macam tipenya maka diperlukan metode yang lebih teliti. Metode yang sering digunakan adalah menimbulkan kembali ringkasan deret Markov pada proses non-Markov. Metode lainnya yaitu perhitungan variabel pendukung yang cukup dalam spesifikasi dari keadaan sistem untuk mengubah proses non-Markov menjadi proses Markov (Cox, Kendall, Teller).

#### IV.2.3.1 GI/M/R<sup>19</sup>

Sistem loss (L) terdiri dari R saluran dan jumlah sumber tak hingga (N=tak hingga) dengan waktu genggam yang distribusi eksponensial negatif dan input regeneratif acak. Tujuan utama adalah menentukan time dan call congestion untuk grup saluran, juga fungsi probabilitas dari jumlah saluran sibuk  $Z(t)$  saat t dan beberapa probabilitas lain yang penting dalam sistem.

Sistem dalam keadaan j ketika ada j saluran yang sibuk dalam C grup saluran.  $Z_r$  menyatakan jumlah saluran sibuk yang dijumpai oleh panggilan ke r.

$$P_j = \lim_{r \rightarrow \infty} pr\{Z_r=j\} \dots\dots\dots(4-60)$$

$P_R$  adalah probabilitas bahwa panggilan acak akan menemui semua R saluran sibuk. Call congestion diperoleh :

---

<sup>19</sup> Ibid, Hal.149



$$\pi = P_R = \frac{\prod_{n=1}^R \alpha(n\mu)}{\sum_{v=0}^R \left( \begin{matrix} R \\ v \end{matrix} \right) \prod_{n=v+1}^R \alpha(n\mu)} \dots\dots\dots (4-61)$$

Trafik carried :

$$E\{Z(t)\} = \frac{\lambda}{\mu} (1 - P_R) \dots\dots\dots (4-62)$$

Trafik yang ditawarkan :

$$A = \frac{\lambda}{\mu} \dots\dots\dots (4-63)$$

Time congestion :

$$S = Q(R) = \frac{\lambda}{R\mu} \frac{1}{\alpha(R\mu)} P_R \dots\dots\dots (4-64)$$

Dari asumsi-asumsi, dalam kasus GI/M/R-(L) probabilitas fungsi  $Q(j)$  dari proses kemacetan  $\{Z(t), t \geq 0\}$  dalam kondisi seimbang adalah :

$$Q(j) = \sum_{h=j}^R (-1)^{h-j} \left( \begin{matrix} h \\ j \end{matrix} \right) H_h \dots\dots\dots (4-65)$$

dengan

$$H_h = \frac{\lambda}{h\mu} K_h \frac{1}{\alpha(h\mu)}$$

dan

$$K_h = k_h \frac{\sum_{v=h}^R \left( \begin{matrix} R \\ v \end{matrix} \right) \frac{1}{k^v}}{\sum_{v=0}^R \left( \begin{matrix} R \\ v \end{matrix} \right) \frac{1}{k^v}}$$

$$h = 0, 1, \dots, R$$

$$k^v = \prod_{n=1}^v \alpha(n\mu), \quad k_0 = 1$$

Maka call congestion  $\pi$  dan time congestion  $S$  masing-masing diberikan oleh persamaan (4-61) dan (3-64).

#### IV.2.3.2 M/G/R<sup>2</sup>

Dalam sistem M/G/R input adalah Poisson, waktu genggam adalah random atau umum sesuai dengan keadaan, jumlah saluran dan sumber adalah tak hingga.

Dalam sistem loss (L) dengan jumlah saluran tak hingga dan input Poisson dengan laju  $\lambda$  dan waktu genggam random dengan mean  $1/\mu$ , probabilitas  $j$  saluran sibuk dalam keadaan seimbang adalah Poisson.

$$Q(j) = \frac{1}{j!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j e^{-\lambda/\mu} \quad j=0,1,\dots \dots \dots (4-66)$$

Untuk waktu genggam acak dengan mean  $1/\mu$ , probabilitas seimbang dari  $j$  saluran sibuk ( $j=0,1,\dots,R$ ) adalah diberikan oleh distribusi Engset untuk jumlah sumber yang terbatas dan input sebanding dengan jumlah sumber yang tidak bekerja (idle).

$$Q(R) = \frac{\binom{N}{R} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^R}{\sum_{j=0}^R \binom{N}{j} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j} \dots \dots \dots (4-67)$$

Sedangkan untuk jumlah sumber yang tak terhingga dan input Poisson diberikan oleh distribusi Erlang  $Er(A)$ . Kedua distribusi tersebut, Engset dan Erlang, menyatakan time congestion.

---

<sup>2</sup>Ibid, Hal.160

### IV.3 SISTEM TUNGGU (WAITING SYSTEM)

#### IV.3.1 KARAKTERISTIK UMUM

##### IV.3.1.1 GAMBARAN SISTEM

Sama seperti sistem loss, sistem tunggu terdiri dari 2 grup device yaitu S grup dengan N device dan C grup dengan R device. Hubungan kedua grup diatur sehingga beberapa sumber mempunyai jalan masuk ke beberapa saluran. Jika panggilan yang masuk menjumpai semua saluran terpakai maka panggilan tersebut ditempatkan pada suatu antrian dan menunggu sampai tersedia saluran yang bebas. Waktu yang lewat antara panggilan yang muncul seketika dan panggilan yang dilayani seketika disebut waktu tunggu (waiting time).

Susunan sistem dan nasib panggilan yang gagal menentukan jenis jalan dari bentuk khusus dalam antrian yang terbentuk dan terpencar, dan dari kelakuan panggilan selama periode menunggu. Penentuan jalan yang harus dilalui tersebut umumnya disebut disiplin antrian.

Jumlah panggilan yang dilayani secara serentak paling besar adalah R. Panggilan yang datang ketika semua saluran R terpakai, membentuk sebuah antrian dan menunggu sampai dijumpai saluran bebas.

Sistem tunggu juga sering dinyatakan dengan sistem antrian dan proses kemacetan sebagai proses antrian. Proses

antrian berhubungan dengan 3 karakteristik proses yaitu :<sup>21</sup>

1. proses masukan
2. disiplin antrian
3. mekanisme pelayanan

Proses kemacetan dalam sistem tunggu biasanya digambarkan dengan kumpulan variabel acak  $Y(t)$  yang menyatakan jumlah panggilan yang salah satunya sedang dilayani atau sedang menunggu pelayanan atau dengan kata lain jumlah sumber sibuk dalam S grup dari N sumber. Sistem dikatakan dalam keadaan j saat t jika  $Y(t)=j$  dan perbandingan kejadian tersebut ditulis dengan

$$\text{pr}\{Y(t)=j\} = P(j,t) \quad ; \quad j=0,1,\dots,N \quad \dots\dots\dots(4-68)$$

$$\sum_{j=0}^N P(j,t) = 1 \quad \dots\dots\dots(4-69)$$

Untuk N tak hingga maka  $P(N,t)$  diabaikan.

#### IV.3.1.2 PROBABILITAS TUNDA (Probability of delay)<sup>22</sup>

Probability of delay  $[S(t)]$  adalah probabilitas pada saat t semua saluran dalam sebuah grup sudah terpakai.

$$S(t) = \text{pr}\{Z(t)=R\} = \text{pr}\{Y(t) \geq R\}$$

---

<sup>21</sup>Ibid, hal.182

<sup>22</sup>Ibid, Hal.185

$$= \sum_{j=R}^N P(j,t) \dots\dots\dots(4-70)$$

$$\text{pr}\{D(t)=0\} = \text{pr}\{Y(t)=R\} + 1 - S(t) \dots\dots\dots(4-71)$$

Dalam kondisi seimbang probability of delay adalah  $S$  diartikan sebagai perbandingan waktu ketika semua  $R$  saluran disewa dengan mengabaikan ada atau tidak panggilan yang sedang menunggu.

Dalam arti sempit probability of delay adalah probabilitas pada saat  $t$  ada beberapa panggilan yang menunggu.

$$\text{pr}\{D(t) \geq 1\} = \sum_{j=R+1}^N P(j,t) \dots\dots\dots(4-72)$$

Dalam kondisi seimbang menyatakan perbandingan waktu ketika beberapa panggilan sedang menunggu.

Dalam arti yang terbatas probability of delay  $\Pi(t)$  adalah probabilitas kondisional bahwa pada saat  $t$  grup diblok ketika panggilan datang. Dalam kondisi seimbang ( $\Pi$ ) dapat dipandang sebagai perbandingan panggilan yang dibiarkan tertunda.

#### IV.3.1.3 TRAFIK<sup>23</sup>

Trafik yang ditawarkan  $A(t)$  mengikuti dari proses

---

<sup>23</sup>Ibid, Hal.186

input  $\{X(t), t \geq 0\}$  dan didefinisikan sebagai jumlah rata-rata panggilan yang timbul selama waktu genggam rata-rata. Dalam kondisi seimbang  $A = CT$ , dimana  $C$  adalah laju panggilan dan  $T$  adalah waktu genggam rata-rata.

Trafik carried oleh grup saluran adalah jumlah rata-rata saluran sibuk.

$$E\{Z(t)\} = \sum_{j=0}^{R-1} jP(j,t) + RS(t) \quad \dots\dots\dots(4-73)$$

Waiting traffic adalah jumlah rata-rata panggilan yang menunggu.

$$E\{D(t)\} = \sum_{j=R+1}^N (j-R)P(j,t) \quad \dots\dots\dots(4-74)$$

Daari kedua persamaan diatas terdapat hubungan :

$$E\{Y(t)\} = E\{Z(t)\} + E\{D(t)\} \quad \dots\dots\dots(4-75)$$

yaitu jumlah rata-rata panggilan yang dilayani atau sedang menunggu pelayanan atau secara ekivalen jumlah rata-rata sumber sibuk adalah sama dengan jumlah trafik yang dibawa saluran dan trafik yang sedang menunggu.

Waiting traffic  $A_v(t)$  sama dengan nilai harapan jumlah dari panggilan yang masuk selama rata-rata waktu tunggu. Jika fungsi distribusi dari waktu tunggu dari panggilan  $W(t)$  dan rata-ratanya  $M$  maka :

$$A_v(t) = \int_0^t E\{N(s, t-s)\} dW(s) \quad \dots\dots\dots(4-76)$$

dengan kondisi awal 0 dan  $N(s, t-s)$  adalah jumlah panggilan

masuk pada selang waktu  $s$  dan permulaan di  $t-s$ . Dalam kondisi seimbang dengan laju panggilan  $C$  :

$$A_v = C.M$$

Jadi  $E\{D(t)\} = A_v(t)$

Dalam kondisi seimbang, trafik total dalam sistem dinyatakan sebagai hasil perkalian laju panggilan  $C$  dan waktu gabungan rata-rata yang merupakan jumlah dari waktu genggam rata-rata  $T$  dan waktu tunggu rata-rata  $M$ .

$$E\{Y(t)\} = C(T+M)$$

Proses input  $\{X(t), t \geq 0\}$  dengan jumlah panggilan yang masuk dalam interval  $(t, t+s)$  adalah  $N(s, t)$  dan laju  $C$ . Sedangkan  $\{X_0(t), t \geq 0\}$  sebagai proses gabungan dengan variabel acaknya jumlah panggilan yang berhasil sejak  $t=0$  dan jumlah panggilan yang tidak tertunda dalam selang  $(t, t+s)$  adalah  $N_0(s, t)$  dengan laju panggilan  $C_0$ . Maka perbandingan panggilan tertunda :

$$\Pi = \frac{C - C_0}{C} \dots\dots\dots(4-77)$$

Probability of delay yang bersesuaian dengan trafik kemacetan, jika trafik yang tertunda  $A_d(t)$  dan trafik yang ditawarkan  $A(t)$  adalah

$$\Pi(t) = \frac{A_d(t)}{A(t)} \dots\dots\dots(4-78)$$

Dalam kondisi seimbang  $\Pi = \Pi_0$ .

#### IV.3.1.4 WAKTU TUNGGU (Waiting Time)<sup>24</sup>

Waktu tunggu adalah waktu antara kedatangan panggilan dan saat panggilan mendapat pelayanan dari device. Waktu tunggu tergantung pada disiplin antrian dan bentuk fungsi distribusi dari waktu genggam.

Untuk terminating call dalam waktu  $t$  terdistribusi secara campuran maka fungsi distribusi waktu tunggu dalam keadaan seimbang adalah

$$W^c(t) = \sum_{j=R}^{N-1} P_0(j) p_j^c(t) \dots\dots\dots (4-79)$$

$p_j^c(t)$  adalah probabilitas panggilan datang ketika ada  $j-R$  panggilan yang menunggu tidak akan memakai saluran dalam waktu  $t$ .  $P_0(j)$  adalah probabilitas panggilan akan menemui keadaan  $j$  pada kedatangannya.

Untuk  $t=0$  maka :

$$W^c(0) = \sum_{j=R}^{N-1} P_0(j) \dots\dots\dots (4-80)$$

merupakan probabilitas tunda dalam arti sempit  $\{W^c(0)=\Pi\}$ .

Rata-rata waktu tunggu adalah :

$$M = \sum_{j=R} P_0(j) m_j \dots\dots\dots (4-81)$$

$m_j$  adalah mean dari variabel acak  $S_{j-R+1}$ .

<sup>24</sup> Ibid, hal.189



#### IV.3.2 SISTEM TUNGGU DENGAN PELAYANAN SALURAN TUNGGAL

(M/M/1)<sup>25</sup>

Panggilan yang datang secara acak dilayani dalam perintah panggilannya dan waktu genggamnya adalah distribusi eksponensial negatif, sistem ini ditulis dengan M/M/1. Sistem dalam keadaan  $j$  ketika ada  $j$  panggilan dalam sistem dan hanya satu yang dilayani.

Jika trafik yang ditawarkan (intensitas trafik)  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$  maka

$$P(j) = \left[1 - \frac{\lambda}{\mu}\right] \left[\frac{\lambda}{\mu}\right]^j, \quad j = 0, 1, \dots \quad \dots\dots(4-82)$$

dan meannya

$$E\{Y(t)\} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad \dots\dots\dots(4-83)$$

Probabilitas panggilan yang masuk akan menjumpai antrian dengan panjang 0 dan tidak akan menunggu :

$$P(0) = 1 - \rho \quad \dots\dots\dots(4-84)$$

Jika laju panggilan  $\lambda$  dan waktu genggam rata-rata  $1/\mu$  berkurang maka probabilitas tersebut akan bertambah.

Fungsi distribusi waktu tunggu adalah

$$W(t) = 1 - \rho + \rho(1 - e^{-\mu(1-\rho)t}) \quad \dots\dots\dots(4-85)$$

dengan kerapatan

$$w(t) = (1-\rho)\delta(t) + \lambda(1-\rho)e^{-\mu(1-\rho)t} \quad \dots\dots\dots(4-86)$$

---

<sup>25</sup>Ibid, hal.193

rata-rata waktu tunggu adalah

$$M = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \dots\dots\dots(4-87)$$

Trafik total adalah

$$E\{Y(t)\} = \lambda(T+M) \dots\dots\dots(4-88)$$

### IV.3.3 SISTEM TUNGGU DENGAN PELAYANAN BANYAK

#### IV.3.3.1 M/M/R<sup>26</sup>

Sistem terdiri dari R saluran yang dapat memberi jalan masuk panggilan secara penuh dari jumlah sumber yang tak terbatas. Jika semua saluran R terpakai, panggilan yang masuk diletakkan pada suatu antrian dan menunggu sampai tersedia saluran bebas. Input adalah random dengan laju panggilan  $\lambda$  dan waktu genggam masing-masing panggilan mempunyai distribusi eksponensial negatif yang sama dengan mean  $1/\mu$ , maka sistem disebut M/M/R.

Dalam kondisi seimbang, intensitas trafik atau trafik yang ditawarkan tiap saluran  $\rho = \frac{\lambda}{R\mu}$ .

Dalam kasus  $\rho < 1$   $P(j)$  dengan koefisien-koefisien :

$$\lambda_j = \lambda, j = 0, 1, \dots$$

$$\mu_j = j\mu, j = 0, 1, \dots, R-1$$

$$= R\mu, j = R, R+1, \dots$$

adalah

---

<sup>26</sup>Ibid, hal.235

$$P(j) = P(0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \frac{1}{j!} \quad , \quad j < R$$

$$P(j) = P(0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \frac{1}{R! R^{j-R}} \quad , \quad j \geq R \quad \dots\dots\dots(4-89)$$

$P(0)$  dapat dicari dari persamaan

$$\sum_{j=0}^{\infty} P(j) = 1$$

dan persamaan

$$\frac{1}{P(0)} = \sum_{j=0}^{R-1} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \frac{1}{j!} + \frac{1}{R!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^R \frac{R}{R - \lambda/\mu}$$

Probabilitas semua saluran terpakai sama dengan probabilitas saat paling sedikit ada  $R$  panggilan dalam sistem. Jika panggilan baru datang selama situasi tersebut maka akan tertunda. Probability of delay diturunkan oleh rumus Erlang :

$$E_{2,R}(A) = \frac{\frac{A^R}{R!} \frac{A}{R-A}}{1 + A + \frac{A^2}{2} + \dots + \frac{A^{R-1}}{(R-1)!} + \frac{A^2}{R!} \frac{R}{R-A}}$$

$$E_{2,R}(A) = \frac{R E_R(A)}{R - A[1 - E_R(A)]} \quad \dots\dots\dots(4-90)$$

dimana  $A = \lambda/\mu$  adalah trafik yang ditawarkan.

Komplemen distribusi waktu tunggu :

$$W^c(t) = P(R) \frac{R}{R-A} e^{-\mu(R-A)t} \quad \dots\dots\dots(4-91)$$

Probabilitas tidak ada penundaan :

$$W(0) = 1 - E_{2,R}(A) \quad \dots\dots\dots(4-92)$$

Panggilan ditunda dan harus menunggu ketika pada kedatangannya menemukan sudah ada  $j$  panggilan dimana  $j \geq R$ . Penundaan akan melebihi panjang  $t$  jika dan hanya jika  $j - R$  atau kurang panggilan berakhir selama waktu  $t$ . Panggilan harus menunggu sampai  $j - R + 1$  panggilan sudah tersambung. Waktu tunggu rata-rata :

$$M = \frac{E_{2,R}(A)}{\mu(R-A)} \dots\dots\dots(4-93)$$

Jumlah panggilan yang dilayani atau yang sedang menunggu pelayanan sama dengan hasil kali laju panggilan dengan gabungan jumlah dari waktu genggam rata-rata  $T$  dan waktu tunggu rata-rata  $M$ .

$$E\{Y(t)\} = A + A_w = \lambda(T+M) \dots\dots\dots(4-94)$$

$A$  adalah jumlah rata-rata panggilan yang masuk selang waktu genggam rata-rata atau trafik yang ditawarkan.  $A_w$  adalah jumlah rata-rata panggilan yang masuk selang waktu tunggu rata-rata atau waiting traffic. Sedang  $E\{Y(t)\}$  adalah jumlah rata-rata sumber sibuk atau trafik yang dibawa oleh sumber.

$Z(t)$  variabel acak jumlah saluran sibuk sama dengan panggilan yang sedang dilayani. Untuk  $Y(t) < R$  maka  $Z(t) = Y(t)$  dan untuk  $Y(t) \geq R$  maka  $Z(t) = R$ .

$$\text{pr}\{Z(t)=j\} = P(j) , j = 0, 1, \dots, R-1$$

$$\text{pr}\{Z(t)=R\} = E_{2,R}(A) \dots\dots\dots(4-95)$$

Trafik yang dibawa oleh saluran adalah jumlah rata-rata saluran sibuk.

$$E\{Z(t)\} = \sum_{j=0}^{R-1} jP(j) + R \sum_{j=R}^{\infty} P(j) \dots\dots\dots (4-96)$$

Pada kondisi seimbang statistik :

$$E\{Z(t)\} = \lambda T \dots\dots\dots (4-97)$$

Trafik yang tertunda :

$$A_d = A E_{Z,R}(A) \dots\dots\dots (4-98)$$

Probability of delay dalam arti sempit :

$$\sum_{j=R+1}^{\infty} P(j) = \frac{A}{R} E_{Z,R}(A) \dots\dots\dots (4-99)$$

#### IV.3.3.2 M/M/R/N<sup>27</sup>

Sistem M/M/R/N adalah sistem tunggu dengan R saluran dan sumber N yang terbatas sedang waktu genggamnya adalah distribusi eksponensial negatif dengan mean  $T = \frac{1}{\mu}$  dan sumber membangkitkan panggilan secara acak dengan laju panggilan  $\lambda$  tiap sumber tiap satuan waktu bebas dan saling bebas satu sama lainnya, prosesnya adalah proses B & D

Koefisien kelahiran  $\lambda_j$  tergantung pada keadaan  $j$  dari sistem.

$$\lambda_j \equiv \lambda (N-j) \quad , \quad j=0,1,\dots,N$$

Koefisien kematian :  $\mu_j = j\mu$  untuk  $0 \leq j \leq R-1$   
 $= R\mu$  untuk  $j \geq R$

<sup>27</sup> Ibid, hal.245

$$\begin{aligned}
 P(j) &= P(0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \binom{N}{j}, \quad 0 \leq j \leq R-1 \\
 &= P(0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \binom{N}{j} R^{R-j} \frac{j!}{R!}, \quad R \leq j \leq N
 \end{aligned}
 \dots (4-100)$$

$P(0)$  dapat dicari dari persamaan

$$\sum_{j=0}^{\infty} P(j) = 1$$

dan

$$\frac{1}{P(0)} = \sum_{j=0}^{R-1} \binom{N}{j} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j + \binom{N}{R} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^R F\left( \frac{\lambda}{R\mu}, N-R \right)$$

$$F(x, n) = 1 + nx + \dots + n!x^n$$

Fungsi komplemen distribusi waktu tunggu :

$$W^c(t) = P(R) \frac{\lambda(N-R)}{C} \int_{R\mu t}^{\infty} (1 + \lambda x / R\mu)^{N-1-R} e^{-x} dx$$

Laju panggilan :

$$C = \lambda [N - E\{Y(t)\}]$$

trafik yang ditawarkan  $A = CT$  , laju terminasi

$$T = \sum_{j=0}^N \mu_j P(j)$$

waiting traffic :

$$A_w = \sum_{j=R}^N (j-R) P(j)$$

Dari hubungan  $A_w = CM$  , maka waktu tunggu rata-rata:

$$M = \frac{1}{C} \sum_{j=R}^N (j-R) P(j)$$

Probability of delay yang berhubungan dengan time congestion :

$$S = \sum_{j=R}^N P(j) = \frac{P(R)}{E_{N-R}(\bar{R}\mu/\lambda)} \dots\dots\dots(4-101)$$

Probablity of delay dalam arti sempit :

$$\sum_{j=R+1}^N P(j) = \frac{R P(R)}{E_{N-R-1}(\bar{R}\mu/\lambda)} \dots\dots\dots(4-102)$$

$$W^c(0) = \frac{\lambda(N-R)}{C} \frac{P(R)}{E_{N-R-1}(\bar{R}\mu/\lambda)} \dots\dots\dots(4-103)$$

#### IV.3.3.3 M/D/R<sup>28</sup>

Dalam kasus ini waktu genggam adalah konstan. Lebih khusus lagi sistem dalam kondisi seimbang statistik , input adalah Poisson dengan laju panggilan  $\lambda$  dan panggilan yang datang ketika semua saluran R terpakai akan membentuk antrian. Ketika panggilan menggenggam saluran dengan waktu genggam konstan dengan  $T = 1/\mu$  yang sama untuk semua panggilan.

---

<sup>28</sup>Ibid, hal.251

#### IV.4 SISTEM KERUGIAN - TUNDA (LOSS - DELAY SYSTEMS)<sup>29</sup>

Sistem terdiri dari R saluran dan N sumber diatur seperti pada bab sebelumnya tetapi dengan pembatasan bahwa jumlah maksimum panggilan yang menunggu adalah terbatas (Q). Y(t) adalah jumlah panggilan yang ada dalam sistem saat t, dengan probabilitas P(j,t). Jika pada saat Y(t) < R panggilan baru akan diberi jalan masuk ke saluran bebas saat itu juga. Jika Y(t) lebih dari R tapi kurang dari Q+R, maka panggilan yang datang diletakkan pada suatu antrian. Jika Y(t) sama dengan Q+R maka panggilan yang masuk menjadi hilang dan dihapuskan.

Untuk input acak dan waktu genggam distribusi eksponensial negatif, sistem disebut M/M/R-(W,L) dengan N tak hingga, penyelesaiannya adalah menurut Erlang dan Jensen. Probabilitas peralihan P(i;j,t) dipenuhi oleh persamaan B & D (Jensen).

$$\begin{aligned} P(j) &= P(0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \frac{1}{j!}, \quad 0 \leq j < R \\ &= P(0) \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^j \frac{1}{R! R^{j-R}}, \quad R \leq j \leq R+Q \quad \dots (4-104) \end{aligned}$$

P(0) dapat dicari dari :

$$\sum_{j=0}^{R+Q} P(j) = 1$$

<sup>29</sup>Ibid, hal. 462



Untuk  $Q=0$  maka akan diperoleh distribusi Erlang dan sistem menjadi sistem loss. Sedang untuk  $Q$  tak hingga sistem menjadi bersifat waiting system.

Untuk  $j=Q+R$  koefisien kelahiran diabaikan sehingga laju panggilan menjadi

$$C = \lambda [1 - P(Q+R)] \dots\dots\dots (4-105)$$

Trafik yang dibawa oleh saluran dalam kondisi seimbang harus sama dengan trafik yang diterima oleh sistem.

$$\sum_{j=0}^{R-1} jP(j) + R \sum_{j=R}^{Q+R} P(j) = C T \dots\dots\dots (4-106)$$

$$T = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots (4-107)$$

Probability of delay (time congestion) adalah

$$\sum_{j=R}^{R+Q} P(j) = P(R) \frac{1 - \rho^{Q+1}}{1 - \rho} \dots\dots\dots (4-108)$$

dengan  $\rho = \lambda/R\mu$ . Persamaan di atas dapat diuraikan menjadi

$$E_{2,R}(\lambda/\mu) \text{ , untuk } Q \text{ tak hingga} \dots\dots\dots (4-109)$$

$$E_R(\lambda/\mu) \text{ , untuk } Q = 0$$

Distribusi waktu tunggu diberikan oleh :

$$W^c(t) = P(R) \sum_{i=0}^{Q-1} \frac{\rho^i}{i!} \int_{\mu R t}^{\infty} x^i e^{-x} dx \dots\dots\dots (4-110)$$

Probability of delay dalam artian sempit (call congestion) adalah :

$$W^c(0) = P(R) \frac{1 - \rho^Q}{1 - \rho} \dots\dots\dots (4-111)$$

Untuk  $Q = 0$  menunjukkan probabilitas tidak terjadi penundaan = 1, sedang untuk  $Q$  tak hingga diperlukan persamaan delay Erlang.

Rata-rata waktu tunggu adalah :

$$M = \sum_{j=R}^{R+Q-1} \frac{j-R+1}{\mu R} P(j) = \frac{1}{R\mu(1-\rho)} [W^c(0) - QP(R+Q)] \quad \dots\dots\dots(4-112)$$

dan trafik yang sedang menunggu adalah  $MT$ . Dengan pembagian langsung diperoleh persamaan keseimbangan :

$$(\lambda - C)T + E\{Y(t)\} = \lambda T + \lambda M \quad \dots\dots\dots(4-113)$$

Sebagai penutup pada bab ini dapat disimpulkan bahwa proses congestion pada sistem loss untuk Markovian dapat dicari dengan B&D proses, yang antara lain menghasilkan 4 rumusan klasik, yaitu Bernoulli, Poisson, Engset, dan Erlang. Sedang proses yang bukan Markov diselesaikan dengan cara menimbulkan kembali deret Markov pada proses Non-Markovian.

Dalam sistem tunggu tidak seperti pada sistem loss, parameter yang diperhitungkan lebih sulit. Pada sistem tunggu identik dengan proses antrian. Salah satu faktor yang harus diperhitungkan adalah waktu tunggu. Probabilitas tunda yang diperoleh untuk proses antrian yang berbeda akan berbeda pula hasilnya.

Untuk bab selanjutnya akan dibahas probabilitas kemacetan (congestion) dalam sistem link, karena pada sistem link jauh berbeda dengan sistem-sistem diatas.

## BAB V

### SISTEM LINK

#### V.1 UMUM

Dalam bab ini akan dibahas tentang teori congestion dalam sistem link. Teori congestion di sini berbeda dengan teori congestion dalam sistem loss maupun sistem tunda. Dalam sistem link proses congestion berkaitan dengan aliran atau jalannya panggilan dalam sistem.

Bab ini akan menentukan fungsi congestion menurut metode Jacobeus dan metode Lee-Legall. Pada bagian pertama mengulas gambaran dari sistem. Pada bagian kedua membahas teori congestion pada sistem link dengan metode Jacobeus. Pada bagian selanjutnya akan membahas kemacetan pada sistem link berdasarkan metode Lee-Legall.

#### V.2 GAMBARAN SISTEM

Konsep dari sistem link tidak mengistimewakan beberapa jenis khusus selektor atau switch, tapi berhubungan dengan metode hubungannya. Sistem link melengkapi hubungan antara sistem masuk (inlet) dan sistem keluar (outlet), melalui paling sedikit dua tingkat device penghubung. Hal ini dilakukan dalam beberapa cara dalam hubungan tertentu (sepanjang jalur antara inlet ke outlet) yang hanya akan

digunakan untuk menghubungkan ke outlet yang dibutuhkan.

Secara singkat sistem link didefinisikan sebagai berikut :<sup>30</sup>

1. Hubungan antara inlet dan outlet dalam sistem link dibentuk oleh satu atau lebih link.
2. Link-link itu dipegang pada saat yang sama dengan outlet yang dipilih.
3. Hanya link-link yang menghubungkan ke outlet yang dipilih yang dipegang.

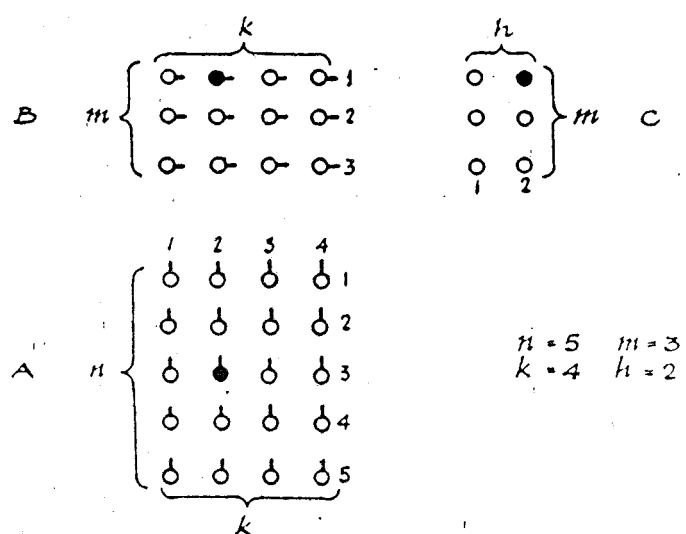
Sebagai contoh sistem link dua tingkat, I dan II, yang terdiri dari beberapa grup device. Panggilan yang masuk mempunyai jalan masuk hanya ke beberapa dari grup tersebut dan membutuhkan device bebas dalam sebuah grup di tingkat I dan secara serentak device bebas di tingkat II. Jika semua device jalan masuk disewa maka terjadi blocking. Blocking juga mungkin terjadi jika ada device dalam grup di tingkat I tapi di tingkat II sibuk. Walaupun ada device bebas dalam sebuah grup di tingkat II, tapi tidak dapat dicapai karena device dalam grup di tingkat I yang membimbingnya disewa, sehingga panggilan tak dapat lewat dan menjadi macet. Kemacetan tersebut disebut internal blocking (internal congestion).

Gambar 5-1 menunjukkan sistem link dua tingkat dengan

---

<sup>30</sup>ibid, hal.328

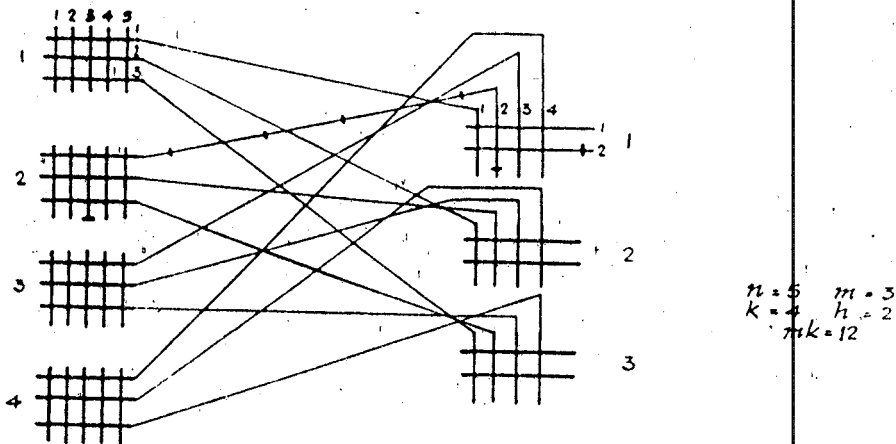
switch tipe crossbar yang mempunyai  $n$  inlet dan  $m$  outlet. Sistem terdiri dari  $k$  switch membentuk tingkat selektor primer dan  $m$  switch crossbar masing-masing  $k$  inlet dan  $h$  outlet membentuk tingkat selektor sekunder. Outlet switch primer dihubungkan link ke inlet switch sekunder yang berbeda. Jumlah outlet dan inlet adalah sama yaitu " $km$ ". Jadi inlet yang diberikan switch crossbar primer mempunyai jalan masuk ke semua switch sekunder, dan sebaliknya masing-masing switch sekunder dihubungkan oleh link ke semua switch primer. Pengaturannya seperti pada gambar 5-2 dimana inlet dan outlet dinyatakan oleh line vertikal dan horizontal.



GAMBAR 5-1<sup>31</sup>

SISTEM LINK DENGAN DUA TINGKAT SELEKTOR

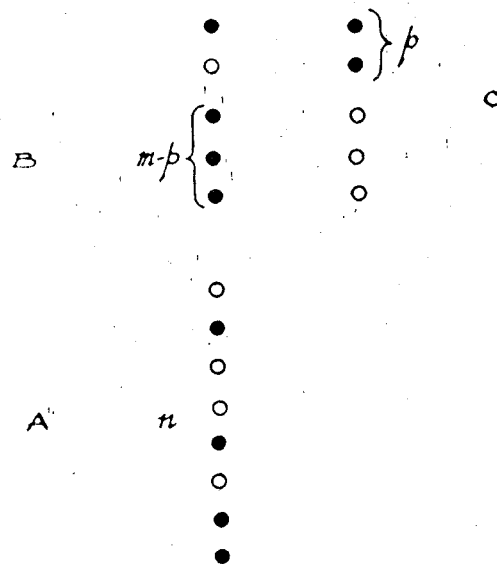
<sup>31</sup> R. Syski, *Opcit*, hal. 330



GAMBAR 5-2<sup>32</sup>  
 SISTEM SWITCH CROSSBAR DENGAN TINGKAT  
 SELEKTOR PRIMER DAN SEKUNDER

Sistem dalam gambar 5-3 terdiri dari 3 grup device A, B, dan C dan dinyatakan sebagai tingkatan. Tingkat A mengandung k kolom dengan n device atau n baris dengan k device. Tingkat B terdiri dari m baris dengan k device atau k kolom dengan m device. Tingkat C terdiri dari h kolom dengan m device atau m baris dengan h device. Kolom A-B mewakili switch primer dengan n inlet (kolom A) dan m outlet (kolom B), sedang baris B-C mewakili switch sekunder dengan k inlet (baris B) dan h outlet (baris C).

<sup>32</sup> Ibid, hal.331

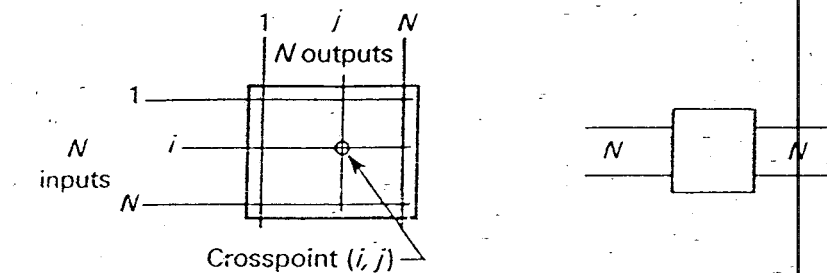
GAMBAR 5-3<sup>93</sup>

## SEBAGIAN DARI SISTEM LINK

Inlet dari switch primer (kolom A) mempunyai jalan masuk ke semua outlet sekunder melalui device (link) B yang bersesuaian kolom dan baris. Dan juga outlet tingkat C dapat dicapai dari inlet tingkat A hanya melalui device (link) B yang bersesuaian dalam kolom dan baris. Suatu hubungan ditandai dengan lingkaran hitam yang menunjukkan bahwa device sibuk. Pada contoh ditunjukkan inlet ke-3 pada switch primer ke-2 dihubungkan pada outlet ke-2 pada switch sekunder pertama melalui link yang bekerja sama outlet primer pertama (pada switch ke-2) ke inlet sekunder ke-2 (pada switch pertama).

Sistem link dapat juga digambarkan dengan susunan

<sup>93</sup> Ibid, hal.333



GAMBAR 5-4<sup>34</sup>  
MATRIX N X N

matriks switching. Matriks switching adalah kumpulan switch untuk menghubungkan masukan (inlet) dan keluaran (outlet) yang dapat diatur dalam cara berbeda untuk menyediakan hubungan sambungan dalam jumlah yang sama. Matriks switching dapat dilihat pada gambar 5-4.

Sistem link adalah sistem switching dengan dua atau lebih susunan matriks switching. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam merancang susunan matriks switching, antara lain :

- Jumlah inlet dan outlet
- Karakteristik trafik
- Biaya pabrik dan pengepakan susunan switch
- Kontrol biaya yang dihasilkan

Untuk menganalisa kemacetan matriks switching dalam sistem link pertama-tama perlu diketahui sebab terjadinya blocking dan kemudian merumuskan teknik dimana tingkat

<sup>34</sup> Hebertene, G, Op cit., hal. 34



kemacetan dapat diperhitungkan.

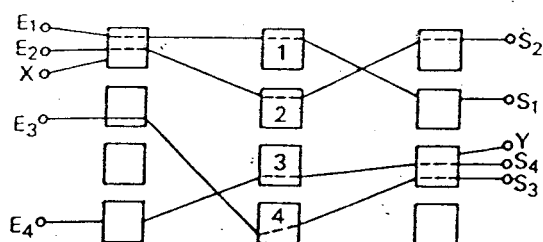
Ada dua kondisi yang dapat menyebabkan kemacetan, yaitu :

- a. semua saluran outlet sibuk
- b. terjadinya matching loss atau idle link mismatch.

Matching loss hanya terjadi pada sistem 3 tingkat atau lebih. Terjadinya matching loss dalam sistem link dapat dijelaskan dengan gambar 5-5 di bawah.

Hubungan yang diinginkan adalah inlet X dan outlet Y. Pada output matriks X ada saluran yang bebas ke matriks 3 dan 4 pada tingkat tengah (kedua), tapi output matriks 3 dan 4 tersebut telah dipakai sehingga dua ujung saluran bebas tersebut tidak dapat dihubungkan ke Y. Maka terjadilah matching loss.

Jika  $n = m = k = h$  disebut square system ;  $n = m$  sistem



GAMBAR 5-5<sup>35</sup>

#### MATCHING LOSS SISTEM LINK 3 TINGKAT

disebut tanpa pengembangan (no expansion) atau konsentrasi dalam tingkat A. Untuk  $n < m$  sistem adalah dengan pengembangan dalam tingkat A (atau B).  $n > m$  sistem adalah dengan konsentrasi dalam tingkat A (atau B).

### V.3 METODE PERHITUNGAN

#### V.3.1 METODE JACOBUS

##### V.3.1.1 PRINSIP PERHITUNGAN<sup>36</sup>

Anggap sistem terdiri dari satu kolom A dengan  $n$  device, satu kolom B dengan  $m$  device dan rute yang terdiri dari satu kolom C yang terdiri  $m$  device seperti pada gambar 5-3. Dalam hal ini beberapa pengaturan menyatakan satu primer switch crossbar dengan link ke semua switch sekunder.

Dalam kondisi seimbang  $p$  device dalam C kolom dimuat, sehingga probabilitas kejadian  $G(p)$  ( $p=0,1,\dots,m$ ). Jika terjadi kemacetan,  $m-p$  device dalam B kolom yang berada pada baris horizontal yang sama dengan dengan C device yang bebas seharusnya menjadi sibuk dengan probabilitas  $H(m-p)$ . Kemacetan pada kondisi  $p$  device sibuk adalah  $G(p)H(m-p)$  dan kemacetan total ( $E$ ) adalah :

$$E = \sum_{p=0}^m H(m-p)G(p) \dots\dots\dots(5-1)$$

$G(p)$  adalah probabilitas  $p$  device sibuk dalam kolom B dan

---

<sup>36</sup>R. Syski, Dpcit, Hal.332

$H(m-p)$  adalah probabilitas  $m-p$  device khusus dalam kolom C yang sesuai dengan device bebas di kolom B sedang sibuk.  $G(p)$  dan  $H(m-p)$  diasumsikan probabilitas yang bebas.

Fungsi  $G(p)$  adalah probabilitas  $p$  device sibuk dalam grup device ketersediaan penuh umumnya dinyatakan sebagai berikut :

1. Distribusi Erlang :

$$G(p) = \frac{A^p}{p! N_m(A)} \dots \dots \dots (5-2)$$

$$N_m(A) = 1 + A + \frac{1}{2} A^2 + \dots + \frac{1}{m!} A^m \dots \dots \dots (5-3)$$

2. Distribusi Bernoulli :

$$G(p) = \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] a^p (1-a)^{m-p} \dots \dots \dots (5-4)$$

3. Distribusi Poisson :

$$G(p) = \frac{A^p}{p!} e^{-A} \dots \dots \dots (5-5)$$

4. Distribusi Engset :

$$G(p) = \frac{\left[ \begin{matrix} N \\ p \end{matrix} \right] \alpha^p}{\sum_{i=0}^m \left[ \begin{matrix} N \\ i \end{matrix} \right] \alpha^i}, \quad N \geq m \dots \dots \dots (5-6)$$

Jika jumlah sumber cukup besar digunakan distribusi Erlang. Jumlah sumber terbatas digunakan distribusi Bernoulli atau Engset, karena probabilitas panggilan baru berkurang jika pemuatan bertambah.

Sedang untuk fungsi  $H(m-p)$  adalah :

$$H(m-p) = \sum_{j=m-p}^m P(j) \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}} \dots\dots\dots(5-7)$$

Jika  $P(j)$  diberikan oleh rumus-rumus di atas maka  $H(m-p)$  adalah :

1. Distribusi Erlang :

$$H(m-p) = \frac{E_m(A)}{E_p(A)} \dots\dots\dots(5-8)$$

$Ex(y)$  = Rumus Erlang loss

2. Distribusi Bernoulli :

$$H(m-p) = a^{m-p} \dots\dots\dots(5-9)$$

3. Distribusi Poisson :

$$H(m-p) = \frac{p!}{m!} A^{m-p} \dots\dots\dots(5-10)$$

4. Distribusi Engset :

$$H(m-p) = \frac{\binom{N}{m-p} \alpha^{m-p} \sum_{i=c}^p \binom{N-m+p}{i} \alpha^i}{\sum_{i=0}^m \binom{N}{i} \alpha^i \binom{m}{p}} \dots\dots\dots(5-11)$$

Jika persamaan 5-1 dan 5-7 digabung diperoleh :

$$E = \sum_{p=0}^m G(p) \sum_{j=m-p}^m P(j) \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}}$$

atau :

$$E = \sum_{j=0}^m P(j) \sum_{p=m-j}^m G(p) \frac{\binom{p}{m-j}}{\binom{m}{j}} \dots\dots\dots(5-12)$$

Jika  $G(p)$  yang berhubungan dengan kolom C atau kolom B, dicirikan dengan  $P(j)$  yang menunjukkan kolom yang sama dan sebaliknya  $P(j)$  asal dari kolom B atau C diganti dengan  $G(p)$  dalam kolom yang sama maka E akan bertambah. Pergantian  $G(p)$  dan  $P(j)$  akan menghasilkan rumus yang berbeda. Jika  $Q(j), j=0,1,\dots,n$  adalah distribusi jumlah device sibuk dalam kolom A.

Untuk  $n > m$  (konsentrasi) :

(i).  $G(p)$  di C dan  $H(m-p)$  di B , maka :

$$P(j) = Q(j) , j=0,1,\dots,m-1$$

$$P(m) = \sum_{j=m}^n Q(j)$$

Jumlah device sibuk adalah sama dalam kolom B dan A dan jika lebih dari n dalam kolom A adalah sibuk, hanya m di

kolom B yang akan sibuk, sehingga :

$$H(m-p) = \sum_{j=m-p}^m Q(j) \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}} + \sum_{j=m+1}^n Q(j) \dots\dots\dots(5-13)$$

Sehingga total blocking menjadi :

$$E = \sum_{p=0}^m G(p) \sum_{j=m-p}^m Q(j) \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}} + \sum_{j=m+1}^n Q(j) \dots\dots\dots(5-14)$$

$$= E' + E''$$

$E'$  adalah blocking yang disebabkan oleh kombinasi pemuatan dalam kolom B dan C, sedang  $E''$  adalah time congestion yang disebabkan oleh lebih dari  $m$  device yang sibuk dalam kolom A.

(ii).  $G(p)$  di B dan  $H(m-p)$  di C , maka :

$$G(p) = Q(p) , \quad p=0,1,\dots,m-1$$

$$G(m) = \sum_{p=m}^n Q(p)$$

sehingga :

$$E = \sum_{p=0}^m Q(p) \sum_{j=m-p}^m P(j) \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}} + \sum_{p=m+1}^n Q(p) \dots\dots\dots(5-15)$$

$$E = E' + E''$$

Untuk  $n < m$  (ekspansi) :

(i).  $G(p)$  di C dan  $H(m-p)$  di B :

$$H(m-p) = \sum_{j=m-p}^m Q(j) \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}}, \quad m-p \leq j \leq n \quad \dots (5-16)$$

sehingga :

$$E = \sum_{p=m-n}^m H(m-p)G(p) \quad \dots (5-17)$$

(ii).  $G(p)$  di B dan  $H(m-p)$  di C :

$$E = \sum_{p=0}^m H(m-p)G(p) \quad \dots (5-18)$$

Untuk  $n = m$  (No expansion - no concentration) :

Untuk mencari rumus kemacetan dapat dilakukan dengan meletakkan  $n = m$  pada persamaan-persamaan di atas.

Hubungan trafik dalam sistem adalah :

$$A_k = B_k = C_h ; \quad A = B = C_h/k$$

$$a = A/n ; \quad b = B/m ; \quad c = C/m = A_k/mk.$$

$A, B, C$  adalah trafik (carried atau offered) per kolom  $A, B, C$ .

$A_k, B_k$  dan  $C_h$  adalah trafik per tingkat  $A, B$  dan  $C$ . Sedang

$a, b, c$  adalah trafik per device dalam tingkat  $A, B, C$ .

Dalam beberapa contoh di bawah ini diturunkan rumus kemacetan untuk bermacam-macam kombinasi dari distribusi standard yang disebutkan di atas, dengan kasus sistem link dengan rute yang terdiri  $C$  kolom tunggal.

untuk  $n = m$  :

(i)  $G(p)$  di C;  $Q(j)$  Bernoulli di A dan  $G(p)$  Erlang di C :

$$E = \sum a^{m-p} \frac{C^p}{p! N_m(C)} = \frac{E_m(C)}{E_m\left(\frac{C}{a}\right)} \dots\dots\dots (5-19)$$

(ii) G(p) di B; Q(p) Bernoulli di A dan P(j) Erlang di C:

$$E = \sum_{p=0}^m \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] b^p (1-b)^{m-p} \frac{E_m(C)}{E_p(C)} = \frac{E_m(C)}{E_m\left(\frac{C}{a}\right)} \dots\dots\dots (5-20)$$

(iii) G(p) di C; Q(j) Bernoulli di A dan G(p) Bernoulli di C:

$$E = \sum_{p=0}^m \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] c^p (1-c)^{m-p} = (a + c - ac)^m \dots\dots\dots (5-21)$$

(iv) G(p) di B; Q(p) Bernoulli di A dan P(j) Bernoulli di C:

$$E = \sum_{p=0}^m \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] b^p (1-b)^{m-p} c^{m-p} = (b+c-bc) \dots\dots\dots (5-22)$$

untuk  $n < m$  :

(i). G(p) di C; Q(j) Bernoulli di A dan G(p) Erlang

C :

$$H(m-p) = \sum_{j=m-p}^m \left[ \begin{matrix} n \\ j \end{matrix} \right] a^j (1-a)^{n-j} \frac{\left[ \begin{matrix} j \\ m-p \end{matrix} \right]}{\left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right]} \dots\dots\dots (5-23)$$

diperoleh :

$$E = \sum_{p=m-n}^m a^{m-p} \frac{\left[ \begin{matrix} n \\ m-p \end{matrix} \right]}{\left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right]} \frac{C^p}{p! N_m(C)} = \frac{E_m(C)}{E_m\left(\frac{C}{a}\right)} \dots\dots\dots (5-24)$$

(ii) G(p) di B; Q(p) Bernoulli di A dan P(j) Erlang di C :

$$E = \sum_{p=0}^m \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] a^p (1-a)^{m-p} \frac{E_m(C)}{E_p(C)} = \frac{E_m(C)}{E_m\left(\frac{C}{a}\right)} \dots\dots\dots (5-25)$$

(iii) G(p) di C; Q(j) Bernoulli di A dan G(p) Bernoulli di C:



$$E = \sum_{p=m-n}^m a^{m-p} \frac{\binom{n}{m-p}}{\binom{m}{p}} \binom{n}{p} c^p (1-a)^{m-p}$$

$$= (a+c-ac)^n c^{m-n} \dots\dots\dots (5-26)$$

(iv). G(p) di B; Q(p) Bernoulli di A dan P(j) Bernoulli di C :

$$E = \sum_{p=0}^m c^{m-p} \binom{n}{p} a^p (1-a)^{m-p}$$

$$= c^{m-n} (a+c-ac)^n \dots\dots\dots (5-27)$$

untuk  $n > m$  :

(i). G(p) di C; Q(j) Bernoulli di A dan G(p) Erlang di C :

$$H(m-p) = \sum_{j=m-p}^m \binom{n}{j} a^j (1-a)^{n-j} \frac{\binom{j}{m-p}}{\binom{m}{p}} +$$

$$\sum_{j=m+1}^n \binom{n}{j} a^j (1-a)^{n-j}$$

$$E = \frac{E_m(C)}{E_m(\frac{C}{a})} \dots\dots\dots (5-28)$$

(ii). G(p) di B; Q(p) Bernoulli di A dan P(j) Erlang di C :

$$E = \sum_{p=0}^m \binom{n}{p} a^p (1-a)^{n-p} \frac{E_m(C)}{E_p(C)} + \sum_{p=m+1}^n \binom{n}{p} a^p (1-a)^{n-p}$$

$$E = \frac{E_m(C)}{E_m(\frac{C}{a})} \dots\dots\dots (5-29)$$

(iii). G(p) di C; Q(j) Bernoulli di A dan G(p) Bernoulli di C :

$$E = c^{m-n} (a+c-ac)^n \dots\dots\dots (5-30)$$

(iv). G(p) di B; Q(p) Bernoulli di A dan P(j) Bernoulli di C :

$$E = \sum_{p=0}^m c^{m-p} \binom{n}{p} a^p (1-a)^{n-p} + \sum_{p=m+1}^n \binom{n}{p} a^p (1-a)^{n-p} \dots\dots\dots (5-31)$$

Untuk melihat efek dari perubahan distribusi, terlihat pada contoh di bawah. kolom B dan C dipakai sebagai referensi dimana diasumsikan  $G(p)$  untuk kolom C dan  $P(j)$  untuk kolom B.

(i).  $G(p)$  dan  $P(j)$  adalah Bernoulli :

$$E = \sum_{p=0}^m \binom{m}{p} c^p (1-c)^{m-p} b^{m-p} = (c+b-cb)^m \quad (5-32)$$

(ii).  $G(p)$  Bernoulli ,  $P(j)$  Erlang :

$$E = \sum_{p=0}^m \binom{m}{p} c^p (1-c)^{m-p} \frac{E_m(B)}{E_p(B)} = \frac{E_m(B)}{E_m(\frac{B}{c})} \quad (5-33)$$

(iii).  $G(p)$  Erlang ,  $P(j)$  Bernoulli :

$$E = \sum_{p=0}^m \frac{C^p}{p! N^m(C)} b^{m-p} = \frac{E_m(C)}{E_m(\frac{C}{b})} \dots\dots\dots (5-34)$$

#### V.3.1.2 ROUTE DENGAN BEBERAPA KOLOM

Sistem terdiri dari  $q$ , tingkat C terdiri dari  $m_q$  device dan trafiknya D erlang, sehingga muatan tiap device C adalah  $c = D/m_q$ . Dianggap hunting di tingkat C adalah random. Probabilitas  $j$  device sibuk di tingkat C adalah  $P(j)$ ,  $j = 0, 1, \dots, m_q$ . Probabilitas C device yang sesuai dengan  $m-p$  device bebas di kolom B semuanya sibuk :

$$H(m-p) = \sum_{j=q(m-p)}^{mq} P(j) \frac{\binom{j}{q(m-p)}}{\binom{mq}{pq}} \dots\dots\dots(5-35)$$

karena ada  $q$  device  $C$  untuk setiap device  $B$ . Total congestion  $E$  adalah :

$$E = \sum_{p=0}^m H(m-p)G(p) \dots\dots\dots(5-36)$$

Beberapa contoh penerapannya seperti di bawah :

Untuk  $n = m$  :

(i).  $G(p)$  Bernoulli di  $B$  ,  $P(j)$  Bernoulli di  $C$  :

$$\begin{aligned} E &= \sum_{p=0}^m \binom{m}{p} b^p (1-b)^{m-p} c^{q(m-p)} \\ &= (b + c^q - bc^q)^m \dots\dots\dots(5-37) \end{aligned}$$

(ii).  $G(p)$  Bernoulli di  $B$  ,  $P(j)$  Erlang di  $C$  :

$$E = \sum_{p=0}^m \binom{m}{p} b^p (1-b)^{m-p} \frac{E_{mq}(D)}{E_{pq}(D)} \dots\dots\dots(5-38)$$

(iii).  $G(p)$  Erlang di  $B$  ,  $P(j)$  Bernoulli di  $C$  :

$$E = \sum_{p=0}^m \frac{B^p}{p! N_m(B)} c^{q(m-p)} = \frac{E_m(B)}{E_m\left(\frac{B}{c^q}\right)} \dots\dots\dots(5-39)$$

### V.3.1.3 SISTEM LINK TAK LENGKAP<sup>38</sup>

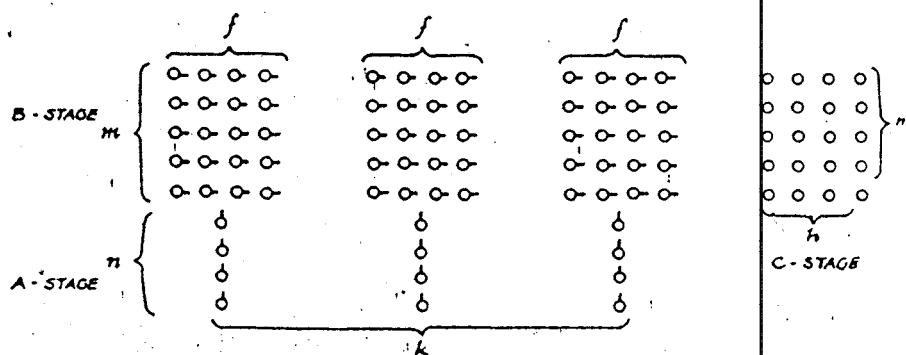
Jika jumlah device di kolom  $B$  lebih besar dari dari

<sup>38</sup>Ibid, Hal.347

kolom C, maka setiap device C dapat dicapai oleh lebih dari satu device di kolom B, seperti terlihat pada gambar 5-6. Setiap kolom A terdiri dari  $n$  device dimana setiap kolom B mengandung  $m$  device yang diatur dalam  $f$  subkolom dari  $m$  device. Tingkat C mempunyai  $h$  device bersama, masing-masing dapat diraih dari  $f$  device dalam kolom B. Jumlah total dari device C seharusnya lebih kecil dari  $k m f$ , sedang dalam sistem yang lengkap jumlahnya sama dengan  $k m f$ . Trafik tiap kolom B adalah  $B = m f b$ .

Nilai congestion dalam sistem link tak lengkap adalah mendekati :

$$E = \frac{E_{mq}(D)}{E_{mq}\left(\frac{D}{b_f}\right)} \dots\dots\dots (5-40)$$



GAMBAR 5-6<sup>39</sup>

# SISTEM LINK TAK LENGKAP

<sup>39</sup> Ibid., hal. 348

#### V.3.1.4 SISTEM LINK LEBIH DARI DUA TINGKAT<sup>40</sup>

Pada dasarnya metode perhitungan sebelumnya dapat dikembangkan untuk sistem link lebih dari dua tingkat, sebagai contoh sistem link tiga tingkat oleh Jacobeauss (1950). Seperti terlihat pada gambar 5-7, tingkat A, B, dan C diatur seperti pada gambar 5-3. Tingkat ketiga terdiri dari  $h$  kolom C-D yang menggambarkan selektor-selektor ketiga. Masing-masing kolom C mewakili  $m$  inlet ke sebuah selektor. Yang sesuai dengan kolom D yang menggambarkan  $r$  outlet. Tingkat C dan D mempunyai  $h_m$  dan  $h_r$  device. Route tingkat D diambil sebagai baris-baris horisontal. Device yang dapat digunakan untuk hubungan dari kolom A ke rute dalam tingkat C digambarkan dalam gambar 5-7.

Dengan  $G(p)$  ditetapkan di kolom B,  $H(m-p)$  adalah probabilitas bahwa jalan hubungan (hunting tingkat C dan D) yang sesuai dengan  $m-p$  device bebas dalam kolom B diblok. Atau dengan kata lain  $H(m-p)$  dianggap kemacetan dalam dua tingkat sistem link, dengan inlet dalam tingkat B dan outlet tingkat D.

$$H(m-p) = \sum_{s=0}^h G'(s) H'[(h-s)(m-p)] \dots\dots\dots (5-41)$$

$$E = \sum_{p=0}^m H(m-p) G(p) \dots\dots\dots (5-42)$$

---

<sup>40</sup> Ibid, Hal. 349

$G'(s)$  adalah distribusi dari outlet sibuk dalam rute.  $H'$  adalah probabilitas bahwa  $(h-s)(m-p)$  device C khusus telah disewa. Kedua persamaan diatas digabung diperoleh :

$$E = \sum_{p=0}^m G(p) \sum_{s=0}^h G'(s) H'[(h-s)(m-p)] \dots\dots\dots (5-43)$$

Persamaan di atas dapat dipakai untuk jumlah tingkat selektor yang berubah-ubah, akan ada  $N-1$  penjumlahan untuk sistem  $N$  tingkat.

Sebagai contoh penerapan dari rumus di atas sistem 3 tingkat dengan distribusi Bernoulli.

(i).  $G(p)$  di B ,  $G'(s)$  di D , dan  $H'$  di C :

$$G(p) = \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] b^p (1-b)^{m-p}$$

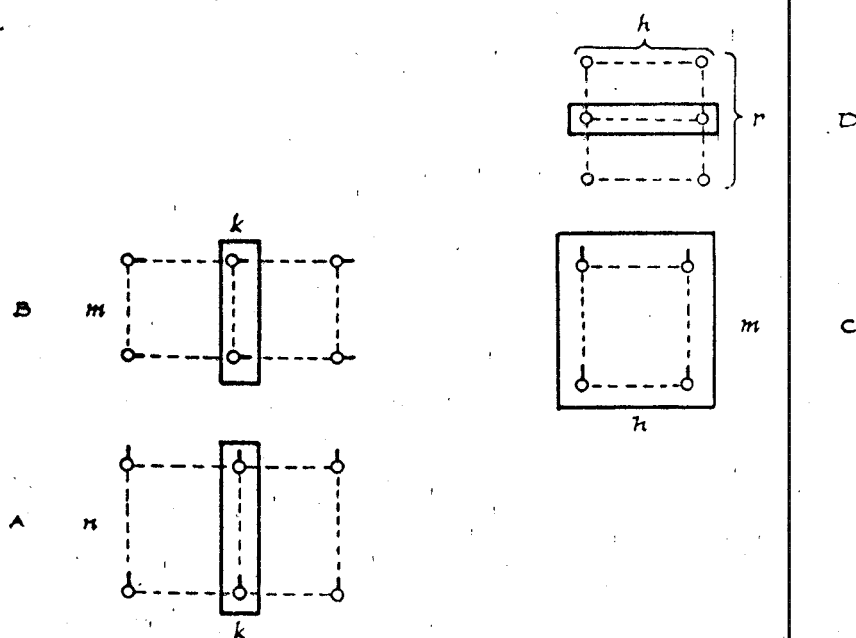
$$G'(s) = \left[ \begin{matrix} h \\ s \end{matrix} \right] d^s (1-d)^{h-s}$$

$$H'[(h-s)(m-p)] = c^{(h-s)(m-p)}$$

maka

$$H(m-p) = (d+ c^{m-p} - d c^{m-p})^h$$

dan 
$$E = \sum_{p=0}^m \left[ \begin{matrix} m \\ p \end{matrix} \right] b^p (1-b)^{m-p} (d+ c^{m-p} - d c^{m-p})^h \dots\dots\dots (5-44)$$

GAMBAR 5-7<sup>41</sup>

## SISTEM LINK TIGA TINGKAT SELEKTOR

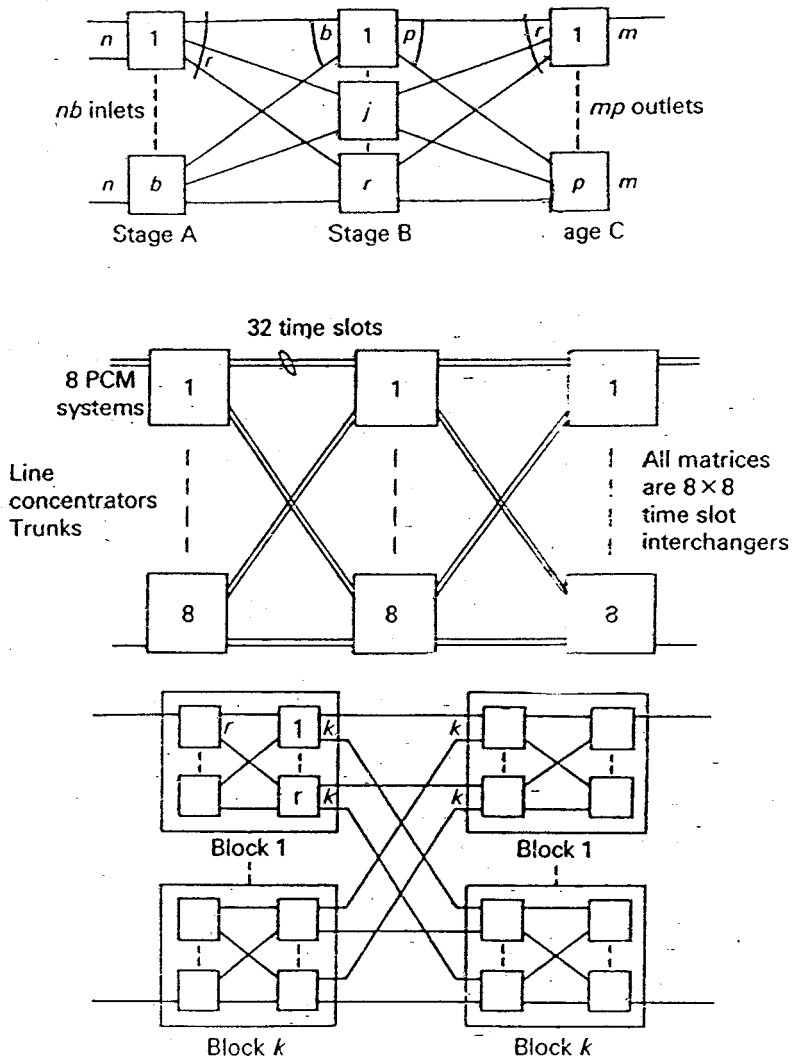
## V.3.2 METODE LEE - LEGALL

## V.3.2.1 GRAFIK SALURAN

Grafik saluran merupakan gambaran dari jumlah keseluruhan jalur yang mungkin antara satu input dan satu output dalam jaringan switching. Grafik saluran dapat memberikan gagasan tentang distribusi dan kualitas jaringan.

Sebagai contoh penggambaran grafik saluran seperti

<sup>41</sup> Ibid., hal.350

GAMBAR 5-8<sup>42</sup>

## MATRIKS SWITCHING DAN GRAFIK SALURAN DARI SISTEM LINK

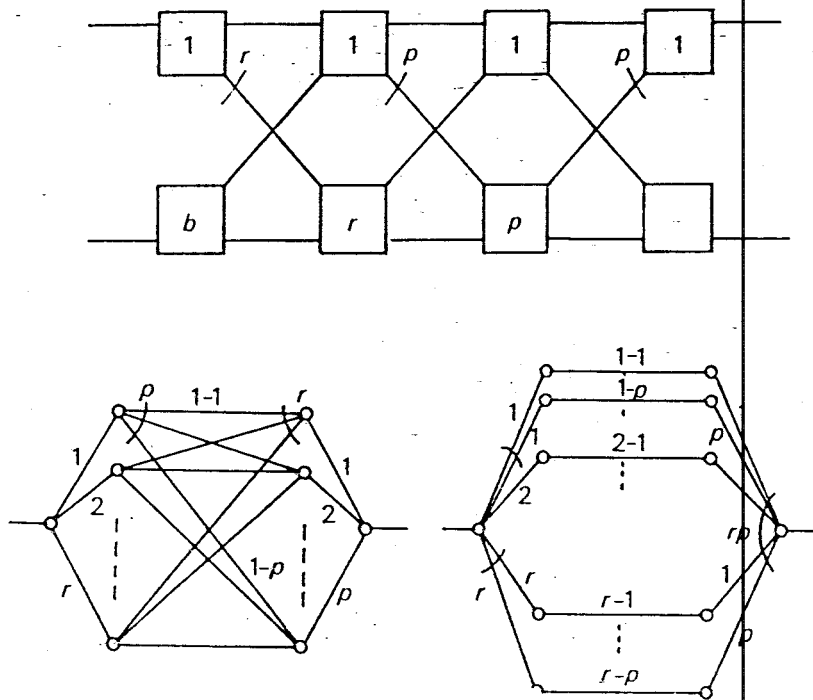
Contoh di atas adalah untuk jaringan dan grafik seri-paralel. Untuk jaringan nonseri-paralel seperti terlihat pada gambar 5-9, ada perbedaan link-link

<sup>42</sup> Hebertene, G, Opcit., hal.44



tertentu untuk beberapa jalur. Dari grafik saluran dapat digambar dengan grafik kanoniknya, dimana tiap-tiap jalur mempunyai cabang seri yang berbeda kemudian perlu untuk menghasilkan link tertentu beberapa kali.

Secara umum grafik kanonik terdiri dari  $M$  cabang digabung dari  $S$  secara seri ( $S$  adalah jumlah tingkat dalam jaringan)



GAMBAR 5-9<sup>43</sup>

JARINGAN NONSERI-PARALEL, GRAFIK CHANNEL  
DAN DIAGRAM KANONIKNYA

<sup>43</sup> Locit.

### V.3.2.2 PRINSIP PERHITUNGAN<sup>44</sup>

Metode Lee-Legall secara umum dapat dinyatakan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Gambar grafik saluran atau kanoniknya untuk nonseri-paralel. Masing-masing link mempunyai variabel X.
2. Merumuskan fungsi dasar

$$f(s) = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - Y_j s) \dots\dots\dots (5-45)$$

dimana j adalah index jalur (N total jalur) dan  $Y_j$  variabel relatif jalur ke-j.

$$Y_j = X_{1j} X_{2j} \dots X_{mj}$$

3. Mengembangkan fungsi f dengan mengabaikan aturan reduksi.

$$X_i X_i = X_i$$

4.  $X_i$  diganti dengan  $q_i = 1 - p_i$  dimana  $p_i$  adalah probabilitas occupancy, misalnya trafik yang dibawa link. Fungsi diganti dengan  $F(s)$  yaitu fungsi polinomial dalam s dari N tingkat.

5. Probabilitas internal blocking diberikan :

$$B = 1 - F(1) \dots\dots\dots (5-46)$$

Probabilitas bahwa ada k jalur adalah :

$$P = \frac{(-1)^{k+1}}{k!} \dots\dots\dots (5-47)$$

dan mean jumlah jalur yang available adalah  $F'(0)$ .

<sup>44</sup>Ibid, Hal.69

### V.3.2.3 SISTEM LINK DUA TINGKAT

Sistem mempunyai M inlet dengan masing-masing terdiri N inlet dan M outlet dengan masing-masing terdiri N outlet, seperti terlihat pada gambar 5-10.

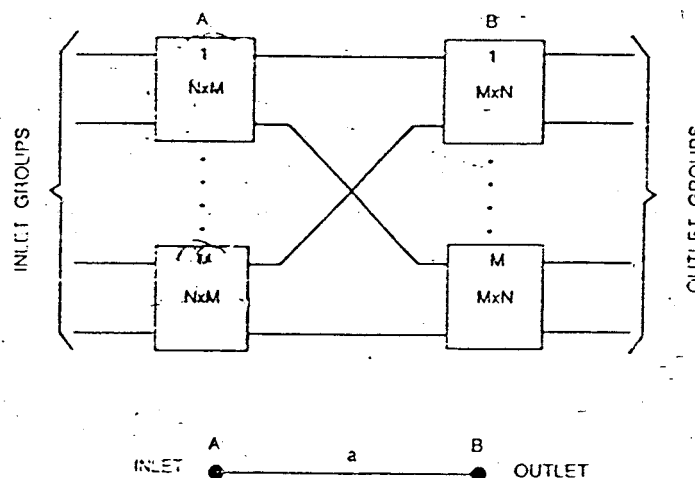
Jika P adalah probabilitas panggilan dari inlet ke outlet akan diblocking dan Q probabilitas panggilan tidak akan diblocking, maka :

$P = P(\text{link A-B sibuk})$

$P = \text{occupancy pada link A-B}$

$P = \text{kerapatan trafik (traffic density) link A-B dalam Erlang}$

$P = a \dots\dots\dots(5-48)$



GAMBAR 5-10<sup>45</sup>

MATRIKS SWITCHING DUA TINGKAT

<sup>45</sup> James R. Boucher, VOICE TELETRAFFIC SYSTEMS ENGINEERING, Artech House, INC, Norwood USA, 1988, hal.57

$$Q = P(\text{link A-B bebas})$$

$$Q = 1 - a \dots \dots \dots (5-49)$$

Keterangan :

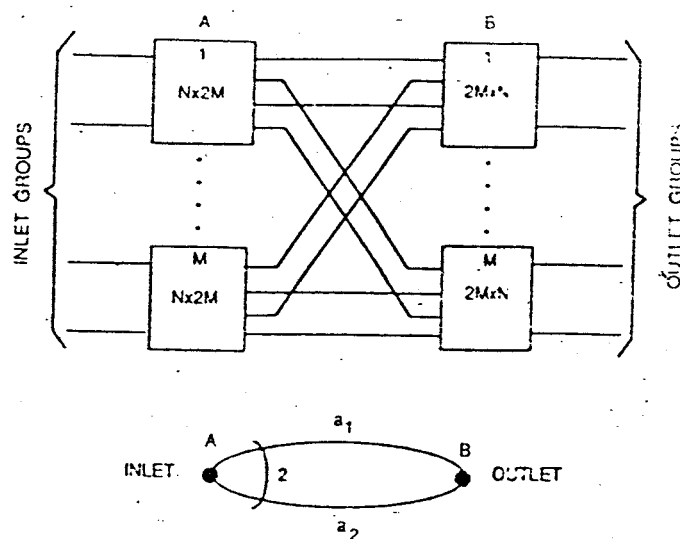
$$a = \text{link traffic density} = \frac{A N}{M} \quad \text{Erlang}$$

A = mean trafik offered per inlet

N = Jumlah inlet tiap grup

M = Jumlah link antar tingkat (interstage link)

Jika level kemacetan tidak dapat diterima, susunan yang lebih besar dapat digunakan. Dalam hal ini 2 jalur paralel (link interstage) antara inlet beberapa tingkat A dan outlet tingkat B dan masing-masing jalur akan membawa separuh dari trafik (untuk distribusi trafik uniform).



GAMBAR 5-11<sup>46</sup>

MATRIKS SWITCHING DUA TINGKAT DENGAN MULTIPLE LINK

<sup>46</sup> Ibid., hal.58

$P = P(\text{link } a1 \text{ dan } a2 \text{ sibuk})$

$P = P(\text{link } a1 \text{ sibuk}) P(\text{link } a2 \text{ sibuk})$

$P = a1 \ a2 \dots\dots\dots(5-50)$

$Q = P(\text{link } a1 \text{ atau link } a2 \text{ bebas})$

$Q = 1 - a^2 \dots\dots\dots(5-51)$

dimana :  $a = \text{kerapatan trafik link} = \frac{A \ N}{2M}$

$A = \text{mean trafik yang ditawarkan tiap inlet}$

$N = \text{jumlah inlet per grup}$

$M = \text{jumlah link antar tingkat}$

Secara umum rumus untuk kemacetan dalam dua tingkat dengan matriks link multiple adalah :

$P = a^x \dots\dots\dots(5-52)$

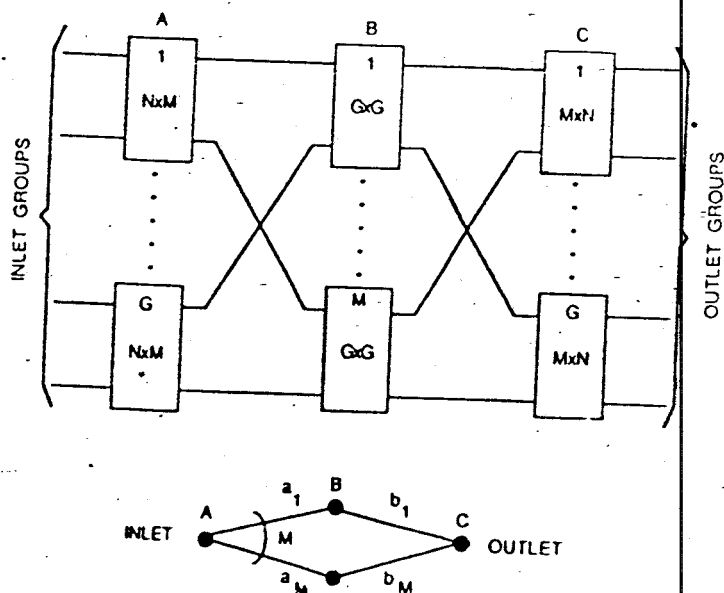
$Q = 1 - a^x \dots\dots\dots(5-53)$

dimana :  $a = \frac{A \ N}{M \ X}$

$X = \text{faktor multiple link.}$

#### V.3.2.4 SISTEM LINK TIGA TINGKAT

Seperti tampak pada gambar 5-12 sistem mempunyai  $G$  grup inlet masing-masing mengandung  $N$  inlet dan  $G$  grup outlet yang masing-masing mengandung  $N$  outlet. Kemacetan terjadi jika link A-B tidak sesuai (match) dengan link B-C yang bebas.

GAMBAR 5-12<sup>47</sup>

## DIAGRAM MATRIKS SWITCHING TIGA TINGKAT

Probabilitas kemacetannya :

$$P = P(a_1 \text{ atau } b_1 \text{ sibuk}) P(a_2 \text{ atau } b_2 \text{ sibuk}) \dots P(a_m \text{ atau } b_m \text{ sibuk})$$

$$P = P(a_i \text{ atau } b_i \text{ sibuk})$$

$$P = P(a_i \text{ sibuk}) + P(a_i \text{ bebas}) P(b_i \text{ sibuk})$$

$$P = a_i + (1 - a_i) b_i$$

dimana :  $(1 - a_i) = P(\text{link A-B ke-}i \text{ sibuk})$

<sup>47</sup> Ibid., hal.59

$a_1 = a_2 = \dots = a_M = a$ , dan  $b_1 = b_2 = \dots = b_M = b$ , maka :

$$P = P_1 P_2 \dots P_M = P_i^M = [a + (1 - a)b]^M \dots \dots (5-54)$$

Rumusan umum kemacetan sistem link tiga tingkat didefinisikan sebagai berikut. Probabilitas blocking sama dengan satu dikurangi probabilitas kedua link tidak akan sibuk secara bersamaan (secara simultan).<sup>48</sup>

$$P = [1 - (1 - a)(1 - b)]^M \text{ untuk } M < 2N-1 \dots \dots (5-55)$$

Untuk  $M \geq 2N-1$  maka sistem akan menjadi nonblocking yang terbatas.

Keterangan :

$a$  = kerapatan trafik link A-B =  $\frac{A N}{M}$  Erlang

$b$  = kerapatan trafik link B-C =  $\frac{A N}{M}$  Erlang

$A$  = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

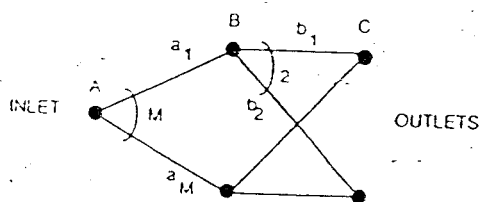
$N$  = jumlah inlet per grup

$M$  = jumlah link antar tingkat

#### Sistem link tiga tingkat dengan Retrial

Jika panggilan tujuannya ke grup trunk, beberapa trunk yang bebas dalam grup tersebut akan melayani dan percobaan ulang mungkin diinisiasikan. Seperti terlihat pada gambar 5-13 inlet akan mencari pada kumpulan link A-B yang sama tapi sekarang akan dapat mencoba match dengan kumpulan link B-C yang berbeda.

<sup>48</sup> Ibid, hal. 60

GAMBAR 5-13<sup>49</sup>

## GRAFIK MATRIKS TIGA TINGKAT DENGAN RETRIAL

Jika P probabilitas panggilan dari inlet ke kedua outlet bebas akan diblocking dan P' probabilitas panggilan dari link A-B ke kedua outlet bebas akan diblok ;

$$P' = P(b_1 \text{ sibuk}) P(b_2 \text{ sibuk}) = b_1 b_2 = b^2$$

$$P = [a + (1 - a)P']^M = [a + (1 - a)b^2]^M \dots\dots\dots(5-56)$$

Secara umum sistem link tiga tingkat dengan multiple trial adalah :<sup>50</sup>

$$P = [a + (1 - a)b^T]^M = [1 - (1 - a)(1 - b^T)]^M \quad (5-57)$$

Keterangan :

$$a = \text{kerapatan trafik link A-B} = \frac{A N}{M} \text{ Erlang}$$

$$b = \text{kerapatan trafik link B-C} = \frac{A N}{M T} \text{ Erlang}$$

A = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

N = jumlah inlet per grup

M = jumlah link antar tingkat

T = Banyaknya percobaan (trial)

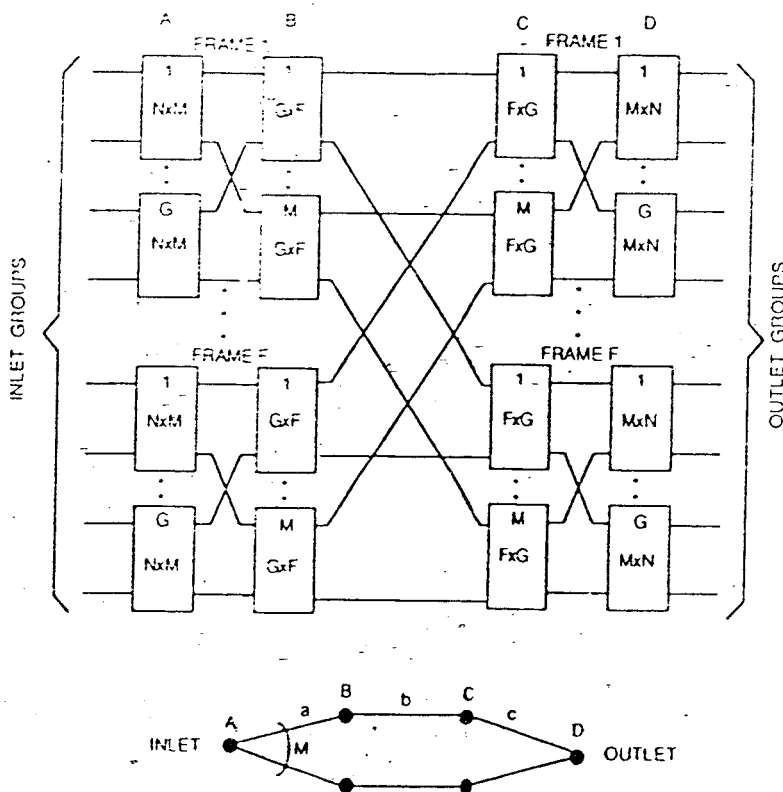
<sup>49</sup> Ibid., hal.61

<sup>50</sup> Locit.



### V.3.2.5 SISTEM LINK MESH 4 TINGKAT

Sistem ini digunakan untuk switch-switch yang lebih besar dimana jumlah frame (modul switching) harus terhubung untuk menyediakan hubungan-hubungan yang banyak. Matriks Mesh mempunyai perbedaan ketergantungan pada link khusus dalam tingkat yang berhasil, link A-B tertentu digabungkan dengan link C-D tertentu oleh link B-C tertentu. Matching loss dapat terjadi pada link interstage.



GAMBAR 5-14<sup>51</sup>

DIAGRAM MATRIKS MESH 4 TINGKAT

<sup>51</sup> Ibid., hal.63

Probabilitas kemacetannya :<sup>52</sup>

$$P = [1 - (1 - a)(1 - b)(1 - c)]^M \dots\dots\dots(5-58)$$

Keterangan :

$$a = \text{kerapatan trafik link A-B} = \frac{A \ N}{M} \quad \text{Erlang}$$

$$b = \text{kerapatan trafik link B-C} = \frac{A \ N}{M} \quad \text{Erlang}$$

$$c = \text{kerapatan trafik link C-D} = \frac{A \ N}{M} \quad \text{Erlang}$$

A = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

N = jumlah inlet per grup

M = jumlah link B-C.

Sistem link Mesh 4 tingkat dengan link B-C multiple (gambar 5-15), probabilitas kemacetannya :<sup>53</sup>

$$P = [1 - (1 - a)(1 - b^X)(1 - c)]^M \dots\dots\dots(5-59)$$

Keterangan :

$$a = \text{kerapatan trafik link A-B} = \frac{A \ N}{M} \quad \text{Erlang}$$

$$b = \text{kerapatan trafik link B-C} = \frac{A \ N}{M \ X} \quad \text{Erlang}$$

$$c = \text{kerapatan trafik link C-D} = \frac{A \ N}{M} \quad \text{Erlang}$$

A = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

N = jumlah inlet per grup

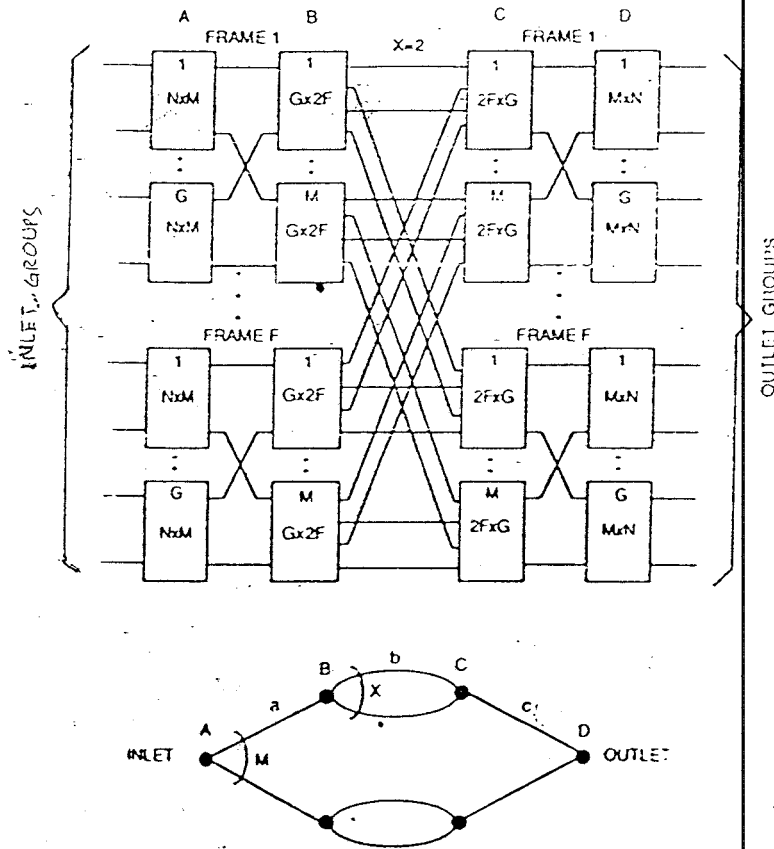
M = jumlah link B-C.

X = faktor multiple link

---

<sup>52</sup> Locit.

<sup>53</sup> Ibid, hal.64

GAMBAR 5-15<sup>54</sup>

## Matriks Mesh 4 Tingkat Dengan Multiple Link

Efek retrial dapat dianalisa dengan cara yang sama dengan sistem 3 tingkat. Sistem Mesh 4tingkat dengan T trial (gambar 3-G) sebagai berikut :<sup>55</sup>

$$P = \{1 - (1 - a)(1 - [1 - (1 - b)(1 - c)]^T)\} \quad \dots(5-60)$$

Keterangan :

$$a = \text{kerapatan trafik link A-B} = \frac{A \cdot N}{M} \quad \text{Erlang}$$

$$b = \text{kerapatan trafik link B-C} = \frac{A \cdot N}{M \cdot T} \quad \text{Erlang}$$

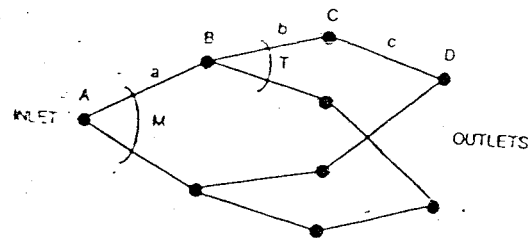
$$c = \text{kerapatan trafik link C-D} = \frac{A \cdot N}{M \cdot T} \quad \text{Erlang}$$

A = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

N = jumlah inlet per grup

<sup>54</sup> Ibid., hal.64

<sup>55</sup> Locit

GAMBAR 5-16<sup>56</sup>

## GRAFIK MATRIKS MESH 4 TINGKAT DENGAN RETRIAL

M = jumlah link B-C.

T = Jumlah percobaan.

Sistem retrial dapat dikombinasi dengan link multiple, seperti terlihat pada gambar 5-17. Probabilitas kemacetannya :<sup>57</sup>

$$P = \{1 - (1 - a) \{1 - [1 - (1 - b^X)(1 - c)]^T\}\}^M \quad \dots(5-61)$$

Keterangan :

a = kerapatan trafik link A-B =  $\frac{A N}{M}$  Erlang

b = kerapatan trafik link B-C =  $\frac{A N}{M X}$  Erlang

c = kerapatan trafik link C-D =  $\frac{A N}{M T}$  Erlang

A = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

N = jumlah inlet per grup

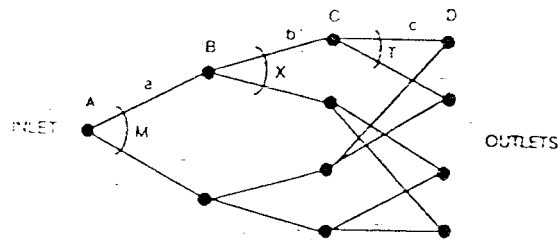
M = jumlah link B-C.

T = Jumlah percobaan.

X = faktor multiple link

<sup>56</sup> Locit.

<sup>57</sup> Ibid, hal.68

GAMBAR 5-17<sup>58</sup>

GRAFIK MATRIKS MESH 4 TINGKAT  
DENGAN RETRIAL DAN MULTIPLE LINK

#### V.3.2.6 SISTEM LINK SPIDERWEB 4 TINGKAT

Desain Spiderweb memungkinkan tiap-tiap link A-B mempunyai akses ke semua link C-D, sehingga probabilitas matching loss dapat dikurangi. Dalam matriks spiderweb pertambahan banyaknya kombinasi link oleh hubungan titik tengah ke lebih dari satu pada titik tingkat sebelumnya.

P adalah probabilitas panggilan dari inlet ke outlet bebas akan diblock, dan P' adalah probabilitas outlet bebas akan diblock dari hubungan ke X link A-B bebas.

$$P' = [c + (1 - c)b^X]^M = [1 - (1 - b^X)(1 - c)]^M$$

Jika  $P_X$  probabilitas bahwa ada X link A-B bebas, maka dengan definisi distribusi binomial :

$$P_X = \frac{M!}{X!(M - X)!} a^{(M-X)} (1 - a)^X$$

Ada M+1 kemungkinan jumlah link A-B bebas, dan

<sup>58</sup> Locit.

probabilitas blocking keseluruhan :<sup>59</sup>

$$P = P_0 'P_0'' + P_1 'P_1'' + \dots + P_M 'P_M'' = \sum P_i 'P_i''$$

$$P = \sum_{i=0}^M \frac{M!}{i!(M-i)!} a^{(M-i)} (1-a)^i [1-(1-b)^i](1-c)^M]$$

..... (5-62)

Keterangan :

$a$  = kerapatan trafik link A-B =  $\frac{A \cdot N}{M}$  Erlang

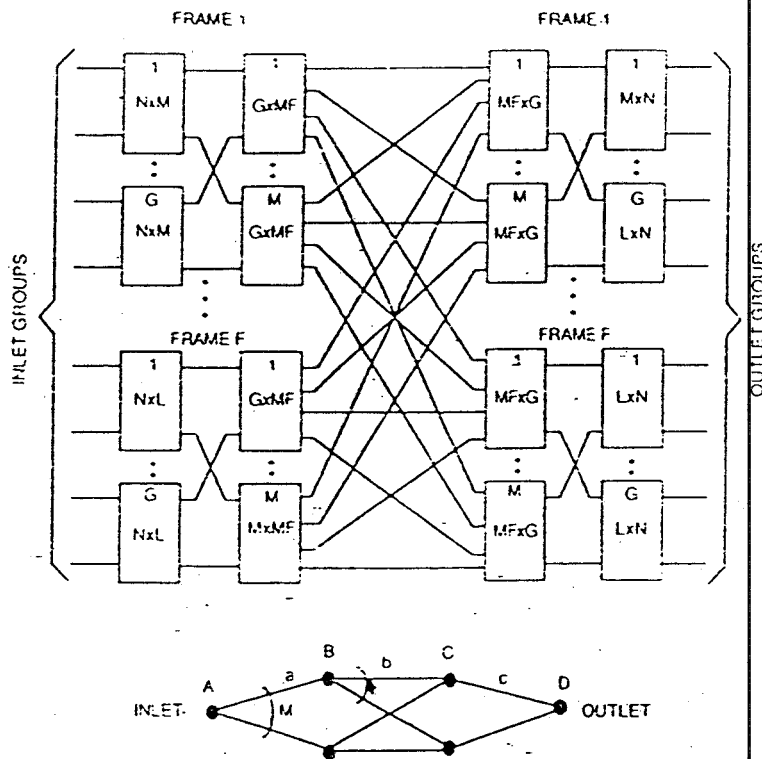
$b$  = kerapatan trafik link B-C =  $\frac{A \cdot N}{M}$  Erlang

$c$  = kerapatan trafik link C-D =  $\frac{A \cdot N}{M}$  Erlang

$A$  = mean trafik yang ditawarkan tiap inlet

$N$  = jumlah inlet per grup

$M$  = jumlah link interstage



GAMBAR 5-18<sup>60</sup>

DIAGRAM MATRIKS SPIDERWEB 4 TINGKAT

<sup>59</sup> Ibid, hal.68

<sup>60</sup> Locit.

#### V.3.2.7 PERBANDINGAN SISTEM LINK

Dari hasil pembahasan di atas, probabilitas kemacetan dalam sistem link akan lebih besar sebanding dengan makin banyaknya tingkat matriks switchingnya. Rumusan congestion dalam sistem link tergantung pada tipe dari sistem, asumsi dari distribusi trafik dan metode pengarahan (hunting). Jika dibandingkan dengan sistem full availability, kemacetan dalam sistem link selalu lebih besar. Kemacetan dalam sistem link akan hampir sama dengan sistem full availability jika benar-benar matching.

Pada bab berikutnya akan dibahas tentang aplikasi dari teori congestion pada suatu sentral telepon otomatis.

## BAB VI

### PENERAPAN TEORI CONGESTION DALAM SISTEM TELEFONI DI SENTRAL TELEPON OTOMAT

#### VI. UMUM

Pada bab ini akan membahas sebuah contoh aplikasi dari teori congestion dalam sistem telefoni pada suatu sentral telepon otomatis. Pada bagian pertama akan membahas sekilas tentang gambaran sentral telepon otomatis yang dijadikan contoh aplikasi. Bagian kedua akan menguraikan perhitungan probabilitas kemacetan, serta parameter lain yang berhubungan dengan trafik. Dan pada pembahasan selanjutnya akan dibuat perbandingan-perbandingan dari hasil pembahasan sebelumnya.

Untuk membahas tentang aplikasi dari teori congestion dalam sistem telefoni pada sentral telepon otomatis, akan diambil hasil pengukuran trafik telepon pada beberapa sentral telepon otomatis.



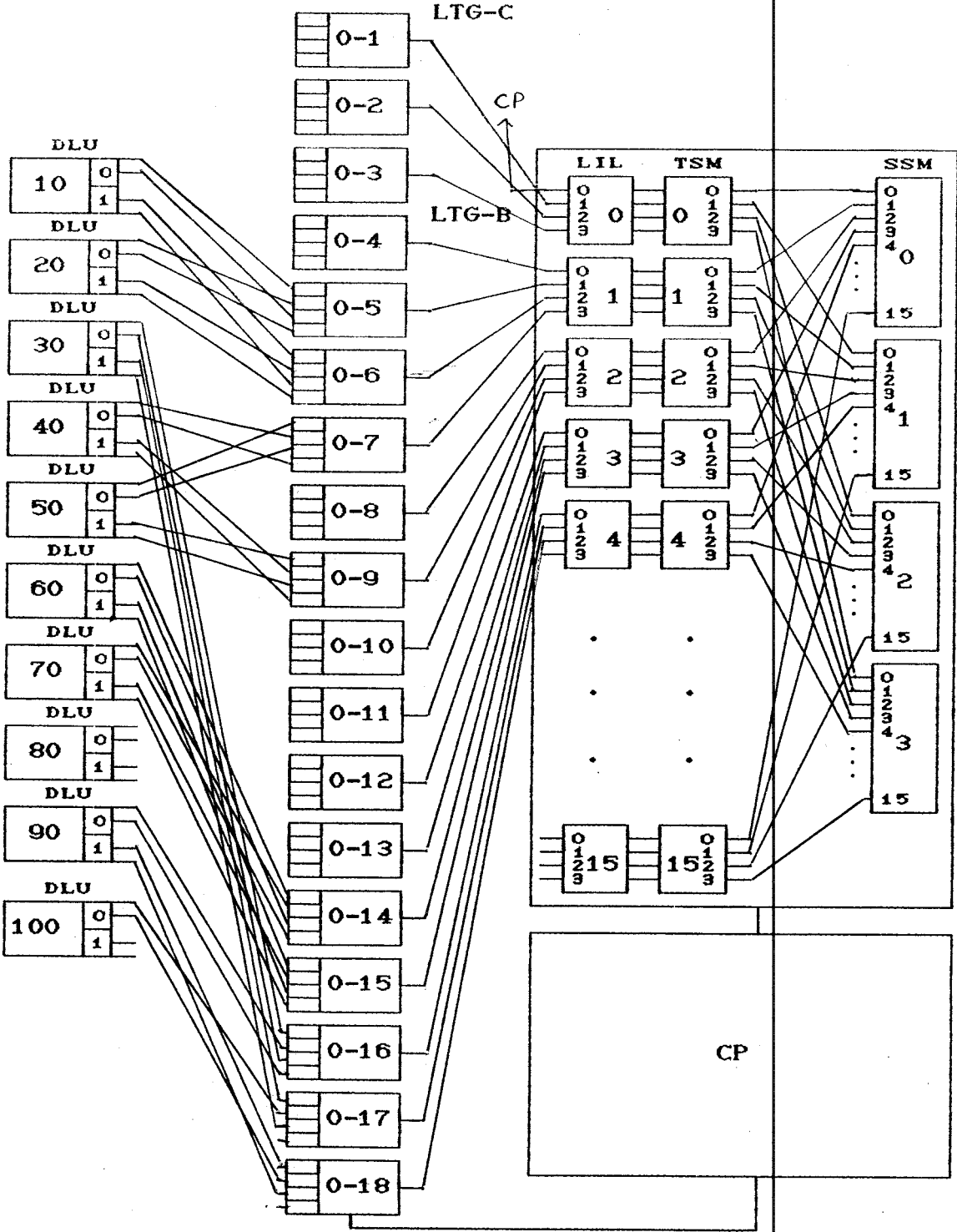
## VI.2 SENTRAL TELEPON OTOMAT (STO) MOJOKERTO

STO Mojokerto merupakan jenis sentral Electronic Wahler System Digital (EWSN) tipe SSP 112 dan SN tipe DE 4. Diagram trunking dan kapasitas dari sentral terakhir pada bulan Januari 1995 seperti pada gambar 6-1 dan tabel 6-1 di bawah.

Pada sistem STDI, saluran pelanggan baik digital maupun analog sebelum masuk dihubungkan ke Digital Line Unit (DLU) yang merupakan interface antara pelanggan dan sentral. Semua perangkat DLU terhubung ke sistem EWSN melalui Primary Digital Carrier (PDC) yaitu 4 buah highway 2 Mbits/sec. Pada STDI Mojokerto mempunyai DLU sejumlah 10 buah dengan kapasitas pengambungan seperti pada tabel 6-1. Untuk DLU 80 kosong karena perangkatnya dipinjam ke Probolinggo.

Line Trunk Grup (LTG) berfungsi sebagai interface saluran pelanggan (DLU) atau trunk dengan jaringan switching (SN). Satu LTG tersambung dengan SN SDC yaitu jalur highway 8 Mbits/sec (128 ts). Setiap ts memiliki bitrate 64Kbits/sec. STDI Mojokerto mempunyai 18 LTG dengan perincian LTG 0-1 sampai 0-4 dan LTG 0-12 dan 0-13 adalah LTG-C yang berfungsi sebagai trunk. LTG 0-5 sampai 0-9 dan 0-14 sampai 0-18 adalah LTG-B yang dihubungkan ke DLU. Sedang LTG 0-10 dan 0-11 digunakan untuk OLMD yaitu sebagai DSB.

SN berfungsi menghubungkan jalur bicara antara pelanggan dari semua LTG melalui highway 8 Mbits/sec, serta



GAMBAR 6-1  
TRUNKING DIAGRAM STDI MOJOKERTO

TABEL 6-1  
KONDISI KAPASITAS STDI MOJOKERTO

DLU	Jml. modul SLMA		Kap. max.		isi	ko- song	Ket
	COS	CMRL/CM16	COS	CM16			
10	107	11	856	44	868	32	
20	107	12	856	48	882	22	
30	104	12	832	48	867	13	
40	79	8	632	32	651	13	
50	80	7	640	28	655	13	
60	71	5	568	30	589	9	
70	67	10	536	60	142	454	
80							
90	65	5	520	30	2	548	
100	28	5	224	30	0	254	
JML.	708	CMRL: 25 CM16: 50	5664	350	4656		

menghubungkan Peripheral Processor dengan Central Processor (CP). Sedang CP berfungsi sebagai pusat kontrol untuk mengkoordinasikan semua Pripheral Processor.

### VI.3 ANALISA PROBABILITAS KEMACETAN STO MOJOKERTO

Untuk mengetahui keandalan dari sentral perlu dilakukan pengambilan data panggilan yang terjadi serta panggilan yang menemui kegagalan. Pengambilan data pada STDI Mojokerto ini dilakukan tiga minggu pertama setiap hari senin sampai Kamis, pada jam sibuk yaitu antara jam 8.00 sampai jam 12.00. Data trafik akan keluar dengan selang 15 menit. Dari sampel-sampel data tersebut diambil data dengan trafik sentral yang paling tinggi. Dari data trafik yang tertinggi tersebut dijadikan laporan bulanan trafik di sentral.

Dari hasil pengukuran trafik selama bulan Januari 1995 dapat diperoleh data-data besarnya panggilan juga kegagalan panggilan yang berguna untuk mengetahui keandalan sentral tersebut. Data hasil pengukuran panggilan pada bulan Januari adalah terlihat pada tabel di bawah.

TABEL 6-2<sup>61</sup>  
RINCIAN DISTRIBUSI LOSS CALL STO MOJOKERTO  
UNTUK BULAN JANUARI 1995

ITEM	CALL	PROSEN- TASE
Loss di Originating		
a.Originating	7661	100
b.LO :		
CC No Dialrel A	2062	27
CC No Dial Tiout	129	2
CC Incmp.Dialrel A	319	4
CC Incmp.Dial Tiout	43	1
Jumlah LO	2553	33
Loss di Sentral		
a.Bidang Sentral	5109	100
b.LS :		
CCU SN Busy	0	0
Tech.Irregular	23	0
Jumlah LS	23	0
Loss di Terminating		
a.Terminating call	2870	100
(Internal+Terminating)		
b.CC with answer	1839	64
(Internal+Terminating)		
Jumlah LT (a-b)	1031	36
c.Rincian LT :		
1)CCS Sub	732	23
2)CCS CMP Dialtiout	20	1
3)CCS CMP Dialrel A	254	11
4)CCU EX Nu	22	1

Dari data-data hasil pengukuran trafik sentral pada jam sibuk di atas dapat dipakai untuk menghitung derajat pelayanan (GOS). Rumus untuk mencari GOS adalah :

$$\text{GOS} = \frac{\text{panggilan yang gagal}}{\text{panggilan yang ditawarkan}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{GOS} &= \frac{23}{5109} \times 100\% \\ &= 0.45 \% \end{aligned}$$

TABEL 6-3<sup>62</sup>

DISTRIBUSI LOSS CALL DAN SCR  
STDI MOJOKERTO BULAN JANUARI 1995

Originating :	
Call Attempt	7661
Loss Call	2553
LO (%)	33.32
Sentral :	
Bidang Sentral	5109
Loss Call	23
LS (%)	0.45
Terminating :	
Call Terminate	2870
Loss Call	1031
LT (%)	35.92
ASR :	
Lokal Internal (%)	79.37
Lokal ME (%)	55.62
SLJJ (%)	42.64
SCR :	
Lokal Internal (%)	52.93
Lokal ME (%)	36.92
SLJJ (%)	28.30
Trafik :	
Internal (ERL)	64.10
Outgoing (ERL)	51.40
Terminate (ERL)	40.41

<sup>62</sup> Ibid, hal. 3

Teori Congestion dalam sistem telefoni untuk sistem STDI adalah berhubungan langsung dengan trafik pada jaringan switching (SN). Pada STDI Mojokerto jaringan switchingnya adalah tipe DE 4. Untuk tipe DE 4 sistem linking-nya adalah T-S-T (TSM-SSM-TSM ; TSM:Time Stage Modul, SSM:Space Stage Modul). Linking T-S-T untuk sentral tipe DE 4 memerlukan modul TSM sejumlah 16 dan 4 modul SSM. Antara modul TSM dan SSM dihubungkan dengan jalur highway 8 Mbits/sec. Keenambelas modul TSM membentuk satu grup TSG. Jumlah highway satu TSG adalah  $16 \times 4 = 64$  highway. Dari 64 highway tersebut satu digunakan untuk semi permanen connection (LTG-SN-MB-SSP) yang digunakan untuk pertukaran data Order, Report, Message atau Command. Sisanya 63 highway digunakan untuk highway ke 63 LTG. Setiap highway menyalurkan 128 ts/kanal 64 kbits/sec dengan clock 8192 kbits/sec atau bitrate 8192 kbits/sec.

Sistem linking T-S-T pada jaringan switching dan diagram salurannya ada pada gambar 6-2.

Untuk sistem link tiga tingkat SN DE4 tersebut dapat ditentukan rumusan untuk menentukan probabilitas blocking, yaitu persamaan 5-55 sebagai berikut :

$$P = [ 1 - (1-a)(1-b) ]^M$$

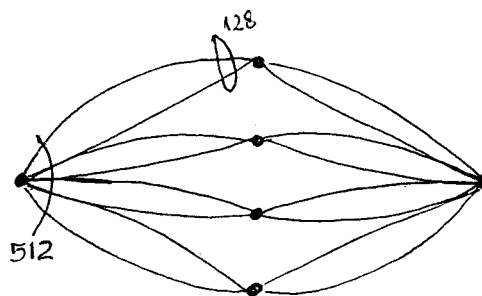
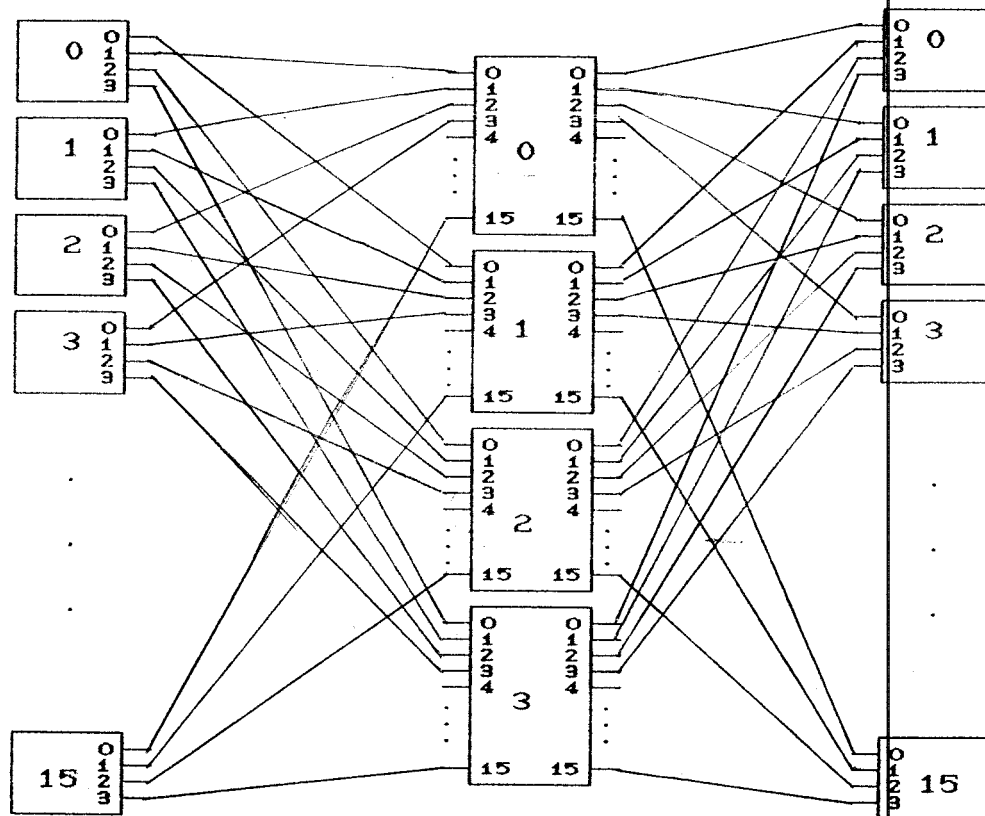
- dimana  $a = \text{kerapatan trafik link A - B} = \frac{A N}{M}$  Erlang

$b = \text{kerapatan trafik link B - C} = \frac{A N}{M}$  Erlang

$A = \text{mean trafik yang ditawarkan tiap inlet}$

$N = \text{jumlah inlet per grup}$

$M = \text{jumlah link antar stage}$



GAMBAR 6-2

JARINGAN SWITCHING DE4 DAN DIAGRAM SALURANNYA

Jumlah link antar stage (M) adalah :

$$4 \times 128 = 512$$

Jumlah inlet tiap grup (N) adalah :

$$4 \times 128 = 512$$

Dari pengukuran didapat trafik sentral :

Internal = 64.10 Erlang  
 Outgoing = 51.40 Erlang  
 Terminating = 40.41 Erlang  
 Total = 155.91 Erlang

Trafik yang ditawarkan tiap inlet (A) adalah :

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Trafik sentral}}{\text{Jumlah inlet}} \\ &= \frac{155.91}{512 \times 4} \\ &= 0.076 \text{ Erlang} \end{aligned}$$

Jika harga diatas dimasukkan ke persamaan diperoleh probabilitas terjadi blocking adalah :

$$\begin{aligned} P &= [1 - (1 - 0.076)(1 - 0.076)]^{512} \\ &= [1 - 0.853776]^{512} \\ &= [0.146224]^{512} \\ &\approx 0 \end{aligned}$$

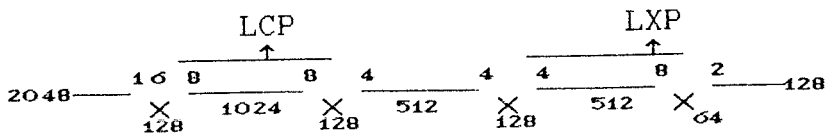
#### VI.4 STO RUNGKUT A

Pada STO Rungkut A merupakan sentral SPC analog Metaconta 10C buatan BTM. Metaconta 10 C adalah tipe sentral dari jenis SPC yang bersifat semielektronik, dimana proses kendali elektronik penuh sedang proses penyambungannya secara mekanis reed relay.

Sentral MC 10C maksimum terdiri dari 10 modul, dimana sebuah modul dapat dihubungkan dengan 2048 pelanggan dan 512 saluran trunk masing-masing 256 incoming dan 256 outgoing. STO Rungkut A terdiri dari 5 buah modul dengan





GAMBAR 6-4<sup>64</sup>

KONSENTRASI DAN EKSPANSI DALAM SENTRAL MO 10C

## VI.5 ANALISA PROBABILITAS KEMACETAN STO RUNGKUT-A

Data hasil pengukuran trafik STO Rungkut-A untuk bulan Januari 1995 seperti di bawah.

TABEL 6-4<sup>65</sup>

RINCIAN DISTRIBUSI LOSS CALL STO RUNGKUT A  
UNTUK BULAN JANUARI 1995

ITEM	CALL	PROSEN-TASE
Loss di Originating		
a.Originating	20390	100
b.LO :		
1)No Dial	4680	22.95
2)Incomplete Dial	1474	7.23
3)Wrong Prefix	357	1.75
4)Calling Not Allowed	547	2.68
Jumlah LO	7058	34.62
Loss di Sentral		
a.Bidang Sentral	13332	100
b.LS :		
CCU SN Busy	21	0.16
Tech.Irregular	73	0.55
Jumlah LS	94	0.71
Loss di Terminating		
a Terminating call	13238	100
b.Rincian LT :		
1)Busy Call	4954	37.42
2)Call Not Answered	1581	11.94
Jumlah LT	6535	49.36

<sup>64</sup> Ibid, hal 19

<sup>65</sup> ..... LAPORAN BULANAN TRAFIK STO RUNGKUT A BULAN  
JANUARI 1995, hal.1

TABEL 6-5<sup>66</sup>

DISTRIBUSI LOSS CALL DAN SCR  
STO RUNGKUT-A BULAN JANUARI 1995

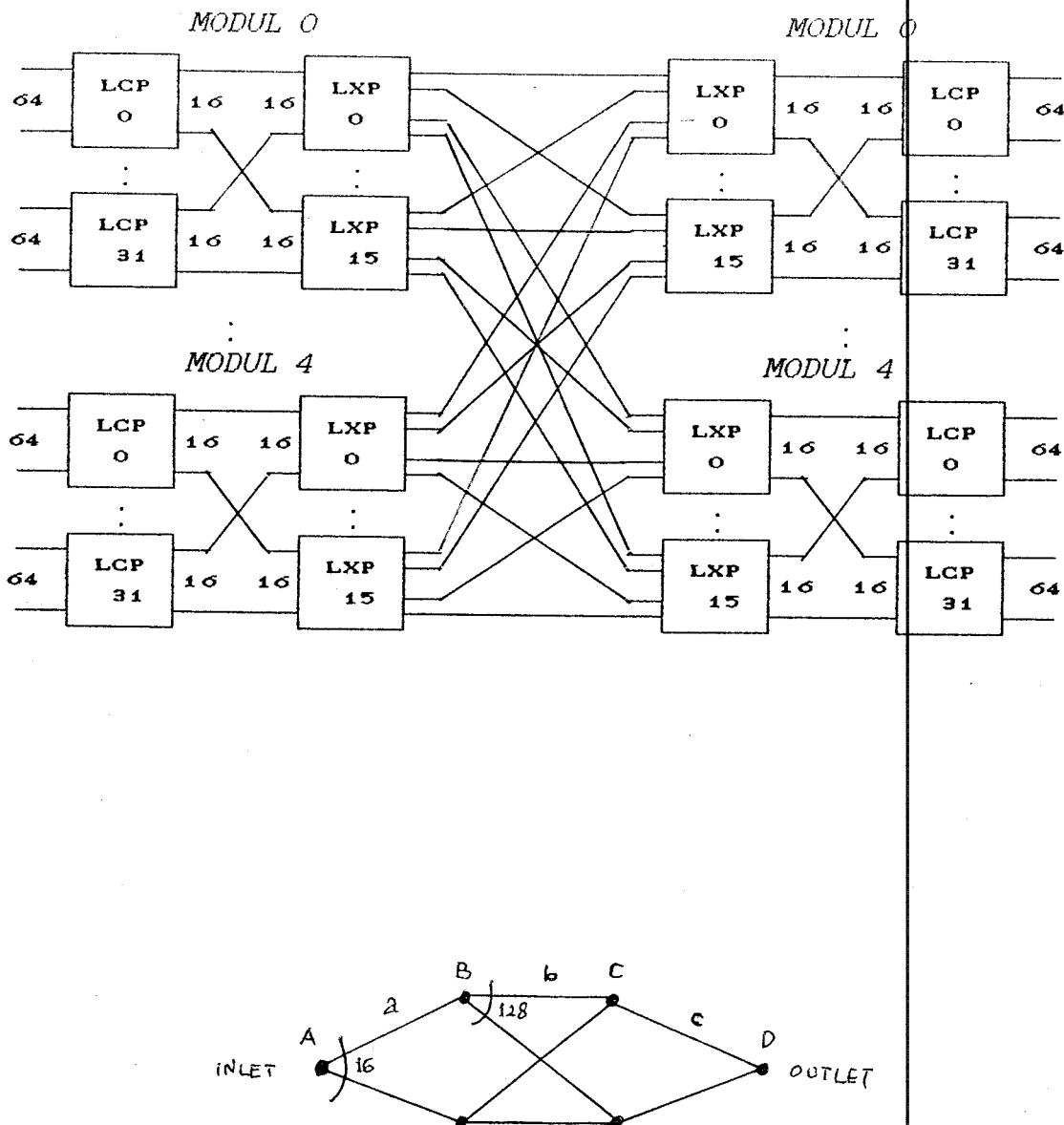
Originating :	
Call Attempt	20.390
Loss Call	7.058
LO (%)	34.62
Sentral :	
Bidang Sentral	13.332
Loss Call	94
LS (%)	0.72
Terminating :	
Call Terminate	13.238
Loss Call	6.535
LT (%)	49.37
ASR :	
Lokal Internal (%)	32.87
Lokal ME (%)	40.86
SLJJ (%)	34.39
SCR :	
Lokal Internal (%)	58.13
Lokal ME (%)	32.87
SLJJ(%)	34.39
Trafik :	
Internal	6.402
Outgoing	5.295
Terminate	5.456

Dari data di atas dapat dicari keandalan sentral sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{GOS} &= \frac{\text{Jumlah panggilan yang gagal}}{\text{Jumlah panggilan yang ditawarkan}} \times 100\% \\
 &= \frac{94}{13.332} \times 100\% \\
 &= 0.72 \%
 \end{aligned}$$

<sup>66</sup> Ibid, hal.2

Untuk menghitung probabilitas blocking harus dianalisa sistem linking sentral. Sistem hubungan dalam sentral MC 10C ini adalah sistem link 4 tingkat jaring laba-laba (spiderweb), seperti terlihat pada gambar 6-5.



GAMBAR 6-5

SISTEM LINK SENTRAL RUNGKUT-A DAN DIAGRAM SALURANNYA

Probabilitas blocking dapat dihitung dengan memakai rumus 5-62, sebagai berikut :

$$P = \sum_{i=0}^M \frac{M!}{i!(M-i)!} a^{(M-i)} (1-a)^i [1 - (1-b^i)(1-c)]^M$$

dimana :  $a = \text{kerapatan trafik link A - B} = \frac{A N}{M}$  Erlang

$b = \text{kerapatan trafik link B - C} = \frac{A N}{M}$  Erlang

$c = \text{kerapatan trafik link C - D} = \frac{A N}{M}$  Erlang

$A = \text{Rata-rata trafik yang ditawarkan tiap inlet}$

$N = \text{Jumlah inlet tiap grup}$

$M = \text{Jumlah link antar tingkat}$

$i = \text{Link A-B yang bebas}$

Jumlah inlet tiap grup (N) = 64

Jumlah link antar tingkat (M) = 16

Rata-rata trafik yang ditawarkan tiap inlet :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\text{Jumlah call attempt}}{\text{Jumlah saluran} \times 60} \text{ Erl} \\ &= \frac{20.290}{10.240 \times 60} \\ &= 0.0331 \text{ Erl} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan data-data di atas diperoleh :

$$P = 1.70E-14$$

## VI.6 STO KEBALEN D

Sentral telepon otomatis Kebalen D adalah sentral EWSD dengan tipe DE 5.2. Pada sentral tipe ini secara umum sama dengan sentral EWSD lainnya, perbedaannya hanya terletak pada jaringan switchingnya (gambar 6-6). Kapasitas dari sentral Kebalen D adalah 24.000 satuan sambungan.



TABEL 6-6<sup>67</sup>

RINCIAN DISTRIBUSI LOSS CALL STO KEBALEN D  
UNTUK BULAN JANUARI 1995

ITEM	CALL	PROSEN- TASE
Loss di Originating		
a.Originating	79574	100
b.LO :		
CC No Dialrel A	18209	22.9
CC No Dial Tiout	579	0.7
CC Incmp.Dialrel A	0	0.0
CC Incmp.Dial Tiout	295	0.4
Jumlah LO	18787	23.6
Loss di Sentral		
a.Bidang Sentral	60787	100
b.LS :		
CCU SN Busy	0	0
Tech.Irregular	16	0
Jumlah LS	16	0
Loss di Terminating		
a.Terminating call	13031	100
b.Rincian LT :		
1)CCS Sub Busy	5897	45.3
2)CCS CMP Dialtiout	67	0.5
3)CCS CMP Dialrel A	1015	7.8
4)CCU EX Nu	315	2.4
Jumlah LT	7293	56.0
Loss di Sirkuit		
a.Bidang Sirkuit	86754	100
b.LC :		
Tgrp Busy	915	1.1
Jumlah LC	915	1.1

Untuk menganalisa probabilitas kemacetan dapat dilakukan analisa pada sistem link 5 tingkat time slot seperti pada gambar 6-6. Pada sentral EWSD tipe DE 5.2

<sup>67</sup> ..... LAPORAN TRAFIK MEA SURABAYA BULAN JANUARI  
1995, Kandatel Surabaya.

TABEL 6-7<sup>68</sup>  
DISTRIBUSI LOSS CALL  
STO KEBALEN-D BULAN JANUARI 1995

Originating :	
Call Attempt	79574
Loss Call	18787
LO (%)	23.6
Sentral :	
Bidang Sentral	60787
Loss Call	16
LS (%)	0.0
Terminating :	
Call Terminate	13031
Loss Call	7293
LT (%)	56.0
ASR (%)	42.64
Trafik (ERL)	1548.8

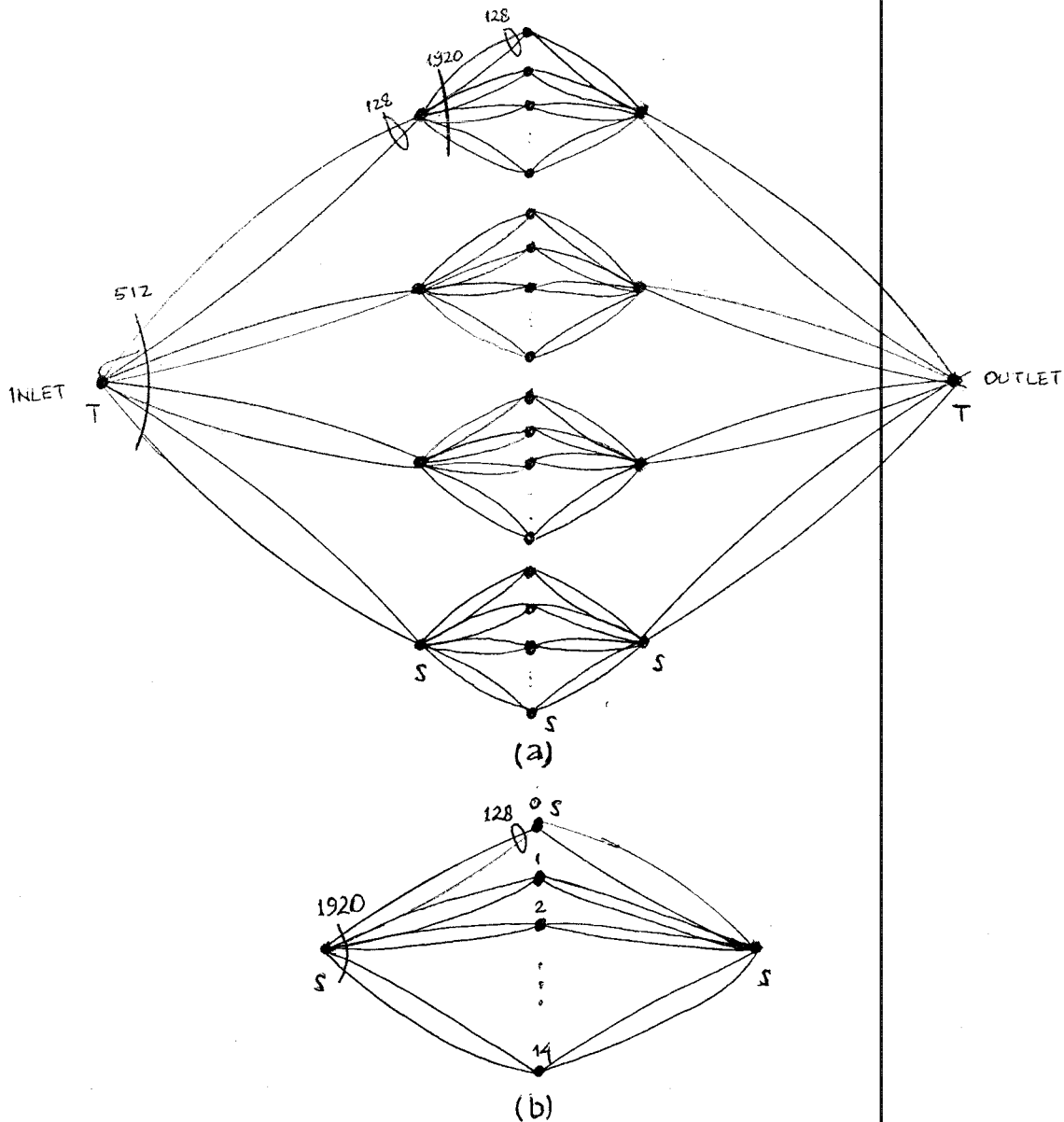
sistem linkingnya adalah T-S-S-S-T. Sistem terdiri dari 2 Time Switching Group pada tingkat T, dan 4 Space Switching Group pada tingkat tengah (SSS). Masing-masing TSG terdiri dai 16 TSM dengan 4 buah highway 8 Mbits/s pada input/output (TSM 4|4). Sedangkan SSG dibentuk oleh linking kombinasi 16 buah modul SSM 8|15 dan 15 buah modul SSM 16|16. Jumlah highway maksimum adalah  $4 \times 128 = 512$  highway. Dari 512 highway tersebut 504 digunakan sebagai higway ke LTG dan 8 highway sebagai SPC.

Probabilitas kemacetan dapat diturunkan dengan terlebih dahulu menganalisa probabilitas kemacetan pada tingkat tengah yaitu tingkat S-S-S. Pada tingkat ini sistem

---

<sup>68</sup> Ibid, hal.3





GAMBAR 6-8

DIAGRAM SALURAN SENTRAL DE 5.2

adalah sistem link tiga tingkat seperti terdapat pada gambar 6-7(b). Jumlah inlet per grup (N) adalah  $8 \times 128 = 512$  dan jumlah link antar tingkat adalah  $15 \times 128 = 1920$ , jadi  $M \geq 2N-1$ . Untuk kasus  $M \geq 2N-1$  maka sistem adalah nonblocking, jadi  $P = 0$  (hal 107).

Karena tingkat tengah S-S-S probabilitas kemacetannya 0 maka sistem link 5 tingkat pada DE 5.2 dapat diberi pendekatan menjadi sistem link 3 tingkat. Untuk mencari probabilitas kemacetannya dapat dicari dengan menggunakan persamaan :<sup>69</sup>

$$P = \frac{(N-1)!^2 a^M (2-a)^{(2N-M-2)}}{M! (2N-M-2)!} , \text{ untuk } N-1 < M < 2N-1$$

Keterangan :

N = Jumlah inlet time slot

M = Jumlah time slot antar tingkat

a = Rata-rata trafik yang ditawarkan tiap inlet.

Dari data sistem dan pengukuran trafik diperoleh :

$$N = 4 \times 128 = 512$$

$$M = 4 \times 128 = 512$$

$$a = \frac{1548.8}{24.000} = 0.065 \text{ Erlang}$$

Sehingga diperoleh probabilitas kemacetan sentral adalah :

$$P = \frac{(511!)^2 (0.065)^{512} (2-0.065)^{510}}{512! 510!}$$

$$= 0.0$$

<sup>69</sup> James R. Boucher, *Opcit*, hal.73

#### VI.8 PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN TRAFIK

Dari data hasil pengukuran trafik di sentral telepon otomatis Mojokerto dan Kebalen-D pada bulan Januari terlihat bahwa pada bidang sentral kegagalan panggilan yang disebabkan oleh sibuknya sentral adalah 0.0%. Sedangkan pada sentral telepon otomatis Rungkut-A kegagalan panggilan karena sentral sibuk untuk bulan Januari 1995 adalah 0.16%. Pada umumnya kegagalan panggilan banyak disebabkan oleh kesalahan teknik (Technic Irregular).

Derajat pelayanan STDI Mojokerto pada bulan Januari 1995 adalah 0.45%, sedang untuk STO Rungkut sebesar 0.72%, dan STO Kebalen D sebesar 0.026%. Hal ini berarti masih memenuhi dari standar yang ditetapkan yaitu sebesar 1%.

Kegagalan-kegagalan panggilan yang lain, pada originating dan terminate banyak disebabkan oleh kesalahan dari kelakuan pemakai telepon dalam pengoperasiannya. Misalnya panggilan yang gagal karena penekanan nomor yang tak lengkap, waktu antar digit yang melewati batas, dan sebagainya.

## BAB VII

### P E N U T U P

Teori congestion dalam sistem telefoni dapat dipakai untuk analisa trafik dalam sentral telepon otomat yang berhubungan dengan panggilan-panggilan yang mengalami blocking selama melalui sentral tersebut. Dengan mengetahui trafik yang gagal maka dapat diketahui kondisi sentral serta kemungkinan langkah yang diambil guna meningkatkan mutu pelayanan.

Dari hasil studi sistem loss untuk proses yang Markov, dengan menggunakan penyelesaian pada proses kelahiran dan kematian (B&D Process) diperoleh 4 rumusan klasik yaitu Bernoulli, Poisson, Engset dan Erlang. Sedang untuk proses yang Non-Markov dapat diselesaikan dengan membangkitkan kembali deret Markov pada proses Non-Markov.

Pada sistem tunggu adalah identik dengan proses antrian. Salah satu fungsi yang harus diperhitungkan adalah waktu tunggu. Probabilitas tunda dan waktu tunggu yang merupakan fungsi congestion tergantung pada model atau tipe dari sistem antrian.

Sistem link terdiri dari beberapa tingkat kelompok matriks switching. Untuk mencari probabilitas blocking di samping dengan metode Jacobus, dapat diselesaikan dengan metode Lee-Legall. Dari hasil pembahasan pada sistem link

diperoleh bahwa semakin tinggi tingkatnya semakin kecil probabilitas blocking.

Probabilitas kemacetan pada jaringan switching untuk STDI Mojokerto adalah 0.0. sehingga pada jaringan swithing sentral tidak mungkin mengalami blocking. Sedang derajat pelayanan sentral sebesar 0.45% yang masih di bawah 1% standar yang ditentukan, jadi keandalan STDI Mojokerto masih tergolong tinggi.

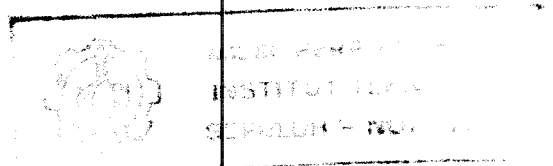
Probabilitas kemacetan kemacetan sentral telepon otomatis MC 10C Rungkut-A untuk bulan Januari 1995 sebesar  $1.70E-14$ . Jadi kemungkinan panggilan yang melewati sentral akan mengalami kemacetan masih sangat kecil. Sedangkan derajat pelayanannya adalah sebesar 0.72%.

Probabilitas sentral telepon otomatis Kebalen-D untuk bulan Januari 1995 adalah 0.0, sehingga pada jaringan switching panggilan tidak akan mengalami kemacetan. Sedangkan keandalan sentral Kebalen-D sebesar 0.026%.

Tingkat keandalan dari sentral tidak hanya dipengaruhi oleh masalah teknik di sentral tersebut, tetapi juga dipengaruhi oleh trafik atau kelakuan pelanggan yang menggunakan jasa telepon. Karena itu untuk meningkatkan keberhasilan panggilan disamping meningkatkan mutu teknik juga penting untuk memperbaiki kesadaran kelakuan pelanggan dalam menggunakan jasa telepon.

## DAFTAR PUSTAKA

1. A. Alkaff, Dr.Ir., HANDOUT KULIAH PROBABILITAS DAN PROSES STOKASTIK, 1991.
- 2 Gerard Hebuterne, TRAFFIC FLOW IN SWITCHING SYSTEMS, Artech House INC, Norwood USA, 1987.
3. James R. Boucher, VOICE TELETRAFFIC SYSTEMS ENGINEERING, Artech House INC, Norwood USA, 1988.
4. Lansun Lee, PhD., AN INTRODUCTION TO TELECOMMUNICATIONS NETWORK TRAFFIC ENGINEERING, ATI, Edmonton, Alberta, Canada, 1986.
5. Ramses R. Minna, AN INTRODUCTION TO TELETRAFFIC ENGINEERING, Telephony, The Journal of Telephony Industry, Telephone Publishing, Chicago, 1974.
6. R. J. Bert Murphy, TELECOMMUNICATION NETWORK A TECHNICAL INTRODUCTION, Howard W Sons and company.
7. Syski R., CONGESTION THEORY AND APPLICATION IN TELEPHONE SYSTEMS, North Holland Amsterdam, 1986.
8. Suhana dan Shigeki Shoji, Ir., BUKU PEGANGAN TEKNIK TELEKOMUNIKASI, Cetakan Ketiga, PT Pradnya Paramita, Jakarta 1981.
9. ...., BUKU PETUNJUK OPERASIONAL METACONTA 10C, Bell Telephone Publishing, 1978.
10. ...., LAPORAN BULANAN TRAFIK BULAN JANUARI 1995 KANDATEL MOJOKERTO.



11. ...., LAPORAN BULANAN TRAFIK STO RUNGKUT A BULAN  
JANUARI 1995.
12. ...., LAPORAN TRAFIK MEA SURABAYA BULAN JANUARI  
1995, Kandatel Surabaya.
13. ...., STRUKTUR DAN FUNGSI SENTRAL TELEPON DIGITAL,  
Pusdiklat Telkom Bandung, 1990.

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO - ITS

EE 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS.

Nama Mahasiswa : HADI SUCIPTO  
Nomer Pokok : 2882201033  
Bidang Studi : TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
Tugas Diberikan : SEPTEMBER 1992  
Tugas Diselesaikan : MARET 1993  
Dosen Pembimbing : Ir. AGUS MULYANTO, MSc, PhD  
Judul Tugas Akhir :

TEORI CONGESTION DAN APLIKASINYA DALAM SISTEM TELEFONI

Uraian Tugas Akhir :

Sejalan dengan semakin meningkatnya pelanggan telepon maka akan timbul permasalahan yaitu kemacetan atau kegagalan panggilan sehingga diperlukan studi untuk mengkaji permasalahan ini.

Pada Tugas Akhir ini akan dikaji tentang teori congestion untuk diaplikasikan dalam sistem telefoni.

Metodologi yang dipakai adalah studi literatur yang berkaitan dengan teori congestion dan studi lapangan tentang aplikasinya dalam sistem telefoni.

Dari studi ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam perencanaan dan pengembangan jaringan telepon yang efektif.

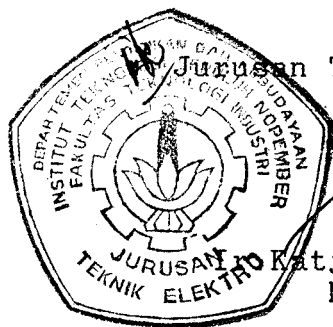
Surabaya , September 1992

Mengetahui ,  
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi  
Koordinator

Dosen Pembimbing ,

Ir. M. Aries Purnomo  
NIP 130532040

Ir. Agus Mulyanto, MSc, PhD  
NIP 130422813



Mengetahui ,  
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS  
Ketua

Katjuk Astrowulan, MSEE  
NIP 130687438



## USULAN TUGAS AKHIR

---

A. JUDUL TUGAS AKHIR : Teori Congestion Dan Aplikasinya Dalam Telefoni

B. RUANG LINGKUP : - Teknik Switching dan Telefoni  
- Sistem Komunikasi  
- Teknik Jaringan Telekomunikasi

C. LATAR BELAKANG : Sejalan dengan perkembangan jaman maka kebutuhan akan telepon semakin meningkat sehingga jaringan telepon yang ideal yaitu jaringan dimana semua pelanggan mempunyai saluran dengan pelanggan yang lain, tidak mungkin dipakai. Hal ini disebabkan karena jaringan ideal akan memakan biaya yang tinggi dan tidak efisien. Sebagai pemecahannya dipakai switch-switch yang dipusatkan dalam satu tempat, yang dikenal dengan sentral telepon. Perkembangan teknologi yang mengarah ke digital menyebabkan munculnya sentral otomatis.

Karena banyaknya pelanggan sedangkan jumlah saluran terbatas maka timbul masalah kemacetan (congestion) atau kegagalan

panggilan. Untuk itu diperlukan studi tentang teori congestion dalam sistem telefoni.

#### D. PENELAAHAN STUDI

: Teori Congestion dalam sistem telefoni berhubungan dengan studi kuantitatif dari aliran trafik yang melalui sentral telepon otomatis dan dengan penentuan dari kehilangan dan keterlambatan panggilan yang terjadi selama melalui lintasan sentral.

Faktor utama yang berkaitan dengan teori congestion adalah :

- sifat-sifat dari panggilan yang datang dan yang diterminasikan.
- nasib dari panggilan yang gagal.
- susunan dari sistem.

Dari karakteristik trafik dan susunan sistem berapa alat dalam sebuah grup atau berapa grup tiap tingkat yang disediakan , sehingga gangguan yang disebabkan pelanggan tidak akan melebihi batas yang ditetapkan.

E. TUJUAN : Mengkaji masalah kemacetan trafik telepon dengan teori congestion untuk diaplikasikan dalam sistem telefoni.

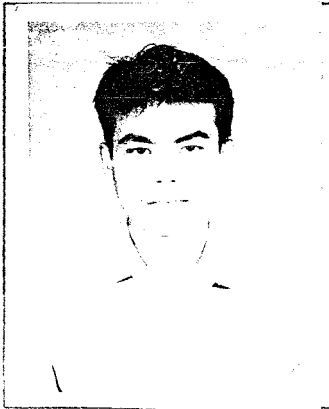
F. LANGKAH-LANGKAH : 1. Studi literatur  
2. Pengumpulan data  
3. Pembahasan  
4. Penulisan naskah

G. JADWAL KEGIATAN :

Jenis kegiatan	Bulan					
	1	2	3	4	5	6
Studi literatur						
Pengumpulan data						
Pembahasan						
Penulisan naskah						

H. RELEVANSI : Dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat dipakai sebagai pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan jaringan telepon.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : HADI SUCIPTO  
Tempat lahir : Kab. JOMBANG  
Tanggal lahir: 20 OKTOBER 1969  
Agama : ISLAM  
Nama Ayah : SAMUDJI  
Nama Ibu : KARIYEM (Alm)  
Alamat : TANGGUNGAN GUDO JOMBANG

Penulis adalah anak keenam dari delapan bersaudara.

### **Riwayat Pendidikan :**

1. SDN Tanggungan Gudo Jombang, lulus tahun 1982
2. SMP Negeri 2 Jombang, lulus tahun 1985
3. SMA Negeri 2 Jombang, lulus tahun 1988
4. Diterima di Jurusan Teknik Elektro FTI ITS melalui jalur Sipenmaru pada tahun 1988.

Pada bulan Pebruari 1995 mengikuti seminar dan ujian tugas akhir, guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana teknik elektro pada bidang studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri ITS.